საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
АКАДЕМИЯ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР

კიბერნეტიკის ინსტიტუტის შრომები

ТРУДЫ ИНСТИТУТА КИБЕРНЕТИКИ

ტ. I

თბილისი • 1977 • ТБИЛИСИ

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია

АКАДЕМИЯ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР

კიბერნეტიკის ინსტიტუტის შრომები

ТРУДЫ ИНСТИТУТА КИБЕРНЕТИКИ

№1

თბილისი. 1977. ТБИЛИСИ

ეძღვნება დიდი ოქტომბრის სოციალისტური
რევოლუციის მე-60 წლისთავს

Посвящается 60-летию Великой Октябрьской
социалистической революции

Под редакцией академика АН ГССР В.В.Чавчанидзе

ГЛАВА I

ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМАМ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА (СИСТЕМЫ И СТРУКТУРЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА)

Чавчанидзе В.В.

ВВЕДЕНИЕ

Системный анализ, как он представляется в настоящее время, все еще не имеет окончательно сформулированных базовых научных методов и концепций, хотя все достижения теории и практики современного моделирования и программирования, теории кибернетики, все средства общения человека с машиной и сочетания знаний лиц разных специальностей практически используются при создании различных искусственных систем, при разработке проектов, планов, "конструировании объектов" и т.д. Само по себе это выглядело бы весьма обоснованным, если бы не напоминало историю с развитием общей теории эволюции видов. Каждый ученый, в зависимости от своей приверженности к тем или иным "базовым" теориям, положениям и взглядам, строит свою "собственную" теорию, опираясь при этом на два или три положения и упуская остальные, в валидности которых он не сомневается. Любовь к избранным им положениям, налет субъективизма, волюнтаризма и научного анархизма в случае проектов, представленных т.н. "системщиками", не всегда носит такой уж невинный характер. Уже имеются факты, когда многие фирмы и компании в США, "обаловавшись с системщиками", прогорели. Ставятся массовые и дорогие эксперименты, на которые расходуют невероятно большие деньги. Так, например, в США строились целые экспериментальные города (стоимостью порядка миллиарда долларов), в

которые поселяли людей, объединенных в различные расовые, национальные, профессиональные, социальные группы. Не осуждая цели и стремлений специалистов, привлекающих внимание общества к трудноразрешимым социальным проблемам, следует заметить, что моделирование на ЭВМ, даже на основе наисовременнейших символических машинных "языков весьма высокого уровня", еще не избавляет никого от анализа реальной ситуации, создаваемой теми, кто вначале действует с помощью ЭВМ, а потом думает. Известно, что реальная ситуация с загрязнением природной среды и была создана благодаря такому инженерно-экономическому и технократическому подходу. Но эта ситуация в историческом плане оправдана: не было ни знаний в этой области, ни теории, ни опыта, а переплетение экономических, социальных и политических мотивов и потребностей привело в настоящее время, с одной стороны, к загрязнению природной среды, а с другой - к пониманию того, что эта практика бездумного опережающего "деления" должна быть прекращена повсеместно. Изданы соответствующие законы, процедуры и ограничения на возможное нанесение ущерба природной среде.

В нашей стране эти положения впервые в истории государств непосредственно отражены в новой Конституции. Таким образом, в определенной степени предотвращено нарастающее загрязнение природной среды. Однако эта проблема истинно системная и глобальная и ее полное решение существенно связано с договоренностью всех государств о соблюдении единой согласованной политики в этой области. Как предупреждали представители "Римского клуба", расход энергии, топлива, металлов и др. ресурсов непрерывно возрастает и, следовательно, "естественный эксперимент" людей, связанный с их неповторимым существова-

нием на земле, происходит при соучастии существующих технологических, технических, экономических процессов, развертывающихся под воздействием роста производительных сил, научно-технической революции, на фоне социально-политических процессов, сдвигов и изменений. Можно ли в таких сложносистемных условиях развивать "локальные системные теории" и предлагать "рецепты" лечения существующих городов, сооружений, водохранилищ, систем ирригации и др., не принимая во внимание множества факторов, ранее никогда не попадавших в нормативы проектирования, конструирования, строительства и монтажа? Любой писатель, поэт, общественный деятель и просто гражданин способен назвать наиболее существенные факторы, которые никогда не попадали ни в учебники для инженеров, ни в нормативы проектировщиков и др. исполнителей проекта. Но одно дело знать, чего нельзя делать, а другое - знать, как делать, что изучать и как подойти к той или иной проблеме из сферы прикладного системного анализа. Вот почему необходимо сформулировать базовые подходы к проблемам системного анализа на основе единой последовательной системы взглядов. Такая система взглядов должна быть достаточно общей, чтобы позволить вместить в себя проблемы общей теории систем, в том числе и анализа систем. Нам представляется, что такой научной базой системного анализа может стать теория искусственного концептуального интеллекта /I-3/, развитая ранее и как общая теория систем /4,5/, и как модель естественного интеллекта /6-8/, и как теория, позволяющая программно и модельно решать множество самых разнообразных прикладных задач /9-I2/. Необходимо обозреть в тезисной форме основные положения теории искусственного концептуального интеллекта (ИКИ).

Как известно, человеческое мышление есть мышление понятийное. Отсюда следует, что теорию искусственного интеллекта просто невозможно создавать, не учитывая этого фундаментального факта. Если рассуждать в функциональном плане, понятийное мышление экономно. Экономно потому, что человек запоминает под одним определением-понятием множество предметов, объектов, частных явлений или процессов. Однако эта экономность не влияет на потенциальные возможности управления. В случае необходимости человек способен более полно разделять предметы, объекты, классифицировать и дифференцировать их. "Компрессионный" характер хранения знаний о целом классе объектов в форме понятий и образов позволяет человеку одно и то же понятие (образ) использовать в разных аспектах, смыслах, то обогащая (абстрагируя предельно), то обедняя его вплоть до уровня отдельного образца - объекта.

В основе теории ИКИ лежит положение о том, что формирование понятий происходит по определенным процедурам /2,3/. Эти процедуры могут быть аналитически четко выражены, процедуризованы, моделируемы и машинно-программируемы. Эта теория предлагает конкретный метод автоматического "вычисления", формирования и синтеза понятий.

Первые попытки по созданию систем обучения понятиям (программы CLS /I3-I5/) оказались недостаточно эффективными. Однако даже создание эффективных машинных программ(машинного интеллекта) по формированию понятий не избавило бы нас от вопросов о том, как это происходит в процессе естественной мыслительной деятельности, как формировать понятийное знание в случае, когда прямое восприятие затруднено, а косвенное или затруднено, или растянуто во времени, или слишком многофакторно? В самом деле, многие понятия детьми осваиваются через книги, учебники, а знания в книги и учебники попадают через длительные исторического масштаба периоды трансформации разрозненных частных данных и знаний, прошедших через руки ученых, наблюдателей, эмпириков, полуэмпириков, теоретиков, практиков, экспериментаторов, теоретиков-экспериментаторов. Могут ли ученики 6-7 класса выработать понятие о ландшафте самостоятельно, без учебников и учителей? Если нет, то вырисовывается, по крайней мере минимальная необходимость построения системы ИИ, способного "питаться" почти любым "первичным сырьем" (данными) из производственного, организационного, общественного, научного и т.п. опыта и приводящего нас к верным "машинным понятиям". Чтобы пользоваться данными, фактами, собираемыми не из ограниченных, как обычно, пространственно-временных областей, подлежащих прямому человеческому восприятию (наблюдение в пределах прямой видимости, охвата взором технологических процессов и т.п.), а из областей типа города, государства, иначе говоря, суперсистем, необходимо построить не просто теорию ИИ, а некий "всеядный ИИ", способный по каким-то определенным имитирующим работу естественного интеллекта процедурам автоматически обработать массивы данных соответствующих суперсистем и, тем самым, создать искусственный интеллект не в узком смысле имитатора некоторых способностей человека по решению проблем /I6/, а как некий универсальный машинный интеллект. Областями восприятия такого ИИ станут всевозможные классы из предметов, объектов, явлений, процессов, событий, ситуаций, теорий, данных и их сочетаний, короче говоря, "областью чувствительности" могут стать любые классы информационно-объединяемых (структурированных или неструктури-

рованных (по определенному правилу) данных. Это означает, что число "чувств" такого ИИ может стать неограниченно большим. Фактическое наличие мощных ЭЦВМ, наличие профессионалов по моделированию тех или иных отдельных процессов и структур (технических, экономических, технологических, социальных, природных данных) позволяет осуществлять эту программу работ, но осуществлять в каждом новом случае новым методом, алгоритмом, программой и машиной. Все это обходится весьма дорого. Машинные программы для всевозможных процессов управления строятся независимо друг от друга. Вот почему проблема создания универсальных систем ИИ сразу становится проблемой создания универсальной процедуры обработки особо предуготовленных ("искусственная перцепция") информационных данных. Это "предуготовление" подобно процессам обработки сигналов первичными рецепторами и органами. В этой связи необходимо знать универсальные методы первичной обработки входной информации, вплоть до универсальных процедур и методов кодирования "перцептивно-подобной информации". Возможно ли это? Во всяком случае, эту проблему следует решать так, чтобы были удовлетворены высокие требования теории интеллектуальных систем и теории интеллектуальных роботических систем.

Необходимо подробнее рассмотреть затронутые выше общие проблемы на основе новой концепции о том, что именно ИИ должен быть изначально и существенно концептуальным, а подача и обработка информации подобны тем информационным процессам, которые протекают в интеллектуальных понятийных структурах /17,18/ головного мозга человека. Иначе говоря, в теории искусственного концептуального интеллекта за основу берется бионический подход, точнее, интеллектуально-бионический подход ("интеллебионика").

I. Об универсальном представлении входной информации. ("Концептуальная перцептроника")

I.I. Введение

Какова бы ни была структура и особенности функционирования внешних предметов, предъявляемых в качестве входных объектов в "интеллерецепторы" заданных "сред" для обработки информации интеллектуальной системой (например, типа ИКИ), не подлежит сомнению принцип ограничения перцептивных "способностей" ИКИ. Тем самым проблема "познания" внешней среды сразу становится проблемой "познания" чего-то конкретного в данных условиях, как-то структурированного, ограниченного, узкого, отграниченного от сторонних сред, порожденного природой объекта. Именно это обстоятельство полностью меняет подход к известной задаче кодирования "входных" данных, вынуждая к единому, универсальному способу их кодирования для любых ЭВМ. Необходима новая универсальная система кодировки произвольных данных, не зависящая от материального субстрата объекта или семантики сообщения, поля или структуры данных. Если представить себе, что система ИИ "сама" собирает всю информацию о "среде", мы будем иметь дело с роботом или автономной системой ИИ, а в случае некой инженерной реализации - с соответствующей интеллектуальной перерабатывающей информацию исполнительной системой. Если до ввода данных в систему ИИ кодированием данных будет заниматься сам человек, то будем иметь дело с обычными разбросанными по всему миру ЦВМ, диапазон "восприятия сред" которых в настоящее время охватывает почти все научные, организационные, культурные, инженерные, хозяйственные "среды" современного мира. Ясно, что такое "посредничество" человека

и его знаний, с одной стороны, резко понижает эффективность интеллектуальных систем, а с другой - необычно расширяет возможности "соучастия" ЭВМ и во всех тех сферах, где человеческий интеллект когда-либо принимал участие (наука, техника, социальная практика, историческая практика).

При рассмотрении только неавтономных систем ИИ становится ясным, что необходимо четко определить, каковы должны быть те универсальные формы подачи информации на "входы" системы ИИ, которые позволили бы унифицировать этот процесс, а данные различных СИИ сочетать между собой. Кроме того, становится необходимым четко определить универсальные формы "восприятия" и представления знаний о "среде". Многообразие форм восприятия человеком информации о среде должно повлиять и на разработку универсально-кодировочных процедур представления знаний в ИИ. Именно в этих пунктах наш подход к созданию СИИ не совпадает с общепринятым подходом к проблемам ИИ и СИИ. Следует оговорить, что форма представления человеком информации о "среде" в сильнейшей степени влияет как на последующие операции, так и на структуру СИИ и программ, поэтому начиная с этапа начальной кодировки до выдачи данных прекращается какое-либо участие человека в универсально-процедуризованной индуктивной переработке входных данных, т.е. на этапе "накопления" опыта, "восприятия" эксперимента, "освоения" данных наблюдений о любой среде, о произвольной структуре, о любой системе, структуре или процессе.

Этот этап универсального представления данных о среде или как мы его назвали, этап бинаризационного, волнового /I9/ представления данных не тривиален и требует от человека не только внимания, остроумия и наблюдательности, но и совершенно нового

типа теоретического мышления. Человек, первый раз предуготовляющий "среду" для ИКИ, сам должен осмыслить задачу, проблему в деталях, в целом, по форме, по содержанию, по существу в новых терминах и кодировочных (волновых) "конструктах" и только тогда вводить данные в систему ИКИ. Только в этом случае ИКИ "его поймет", и только в этом случае он "поймет ИКИ". Требование "языковой" совместимости человека и ИКИ есть одновременно и требование максимального однообразия форм восприятия "сред" и знаний об этих "средах" со стороны человека и системы ИКИ. Преимущество человека перед системой ИКИ, связанное с обработкой "бинаризованных" данных, будет проявляться в том, что человек совершенно свободно способен многократно "отчуждать" от себя данные и "принимать" их. Именно эти многократные обратные связи человека (необязательно того, кто программировал ИКИ) как раз и порождают совершенно новый объект науки "человек + ИКИ" и новый субъект науки в форме "естественный интеллект + искусственный интеллект". Это, в свою очередь, порождает проблему исследования отношений в системе "субъект - объект". Впрочем, аналогичная проблема возникает и разрешается ежесекундно, когда специалист точного естествознания, программист и другие лица, руководствующиеся точными инструкциями и процедурами, решают какую-либо задачу. В их процедурах всегда присутствует что-то как от субъекта, так и от объекта. Эта проблема не так проста, как кажется представителям "интерактивного" взаимодействия человек - ЭВМ. Речь идет о квантово-волновой теории мозга /20,2I/ и интеллектуальной деятельности /22/. Эти теории не позволяют "вольничать" ни "данным субъекта", ни "данным объекта". "Наложение" образцов в голове человека порождает "концепт" об этих объективных пред-

шественниках концепта и позволяет совокупно представлять их /9/. Ясно, что "ошибки восприятия" субъекта создают частный "субъективный" концепт $\Psi_{гск}$, который не совпадает с объектным концептом $\Psi_{об.к}$. Разные люди будут иметь разные концепты о заданном объекте - в этом и сила и слабость. Коэффициент перекрытия (на самом деле матрица) $\Psi_{гск}$ & & $\Psi_{об.к} = \Psi_{расхожд.}$ определяет меру отхода наших представлений от истинного знания об объекте (расспросите 20-30 детей, что такое самолет, дом, одежда, животное, и сравните хотя бы с определениями в БСЭ(!)). Согласно работам /6,I9,23/, эти Ψ и φ не всегда задаются классическими "мемополями" и, следовательно, обычными логическими переменными, они могут быть заданы квантово-волновыми логическими переменными. Это порождает богатейшие возможности для предсказания "будущих" деяний, планирования. Однако не все согласны с тем, что обойтись без квантово-волновой теории мозга и мышления кибернетика не может. Будущее покажет, насколько необходима квантово-волновая теория для кибернетики сегодняшнего дня. Перейдем к изложению модели "концептотрона".

I.2. Основная схема "концептотрона" по теории ИКИ

Примем, как и в теории перцептрона, следующие обозначения: δ - рецепторы и $\mathcal{S}$ - поле рецепторов.

Поле рецепторов $\{\check{\delta}_1, \check{\delta}_2, \ldots, \check{\delta}_n\}$ может находиться во множестве бинарных состояний $\Psi(\ell)$, где $\ell \in L = \{1, 2, \ldots, 2^n\}$

$$\Psi(\ell) = \{\delta_1, \bar{\delta}_2, \delta_3, \delta_4, \ldots, \bar{\delta}_{n-2}, \check{\delta}_{n-1}, \check{\bar{\delta}}_n\};$$

состояния $\check{\delta}_{n-1}$, $\check{\bar{\delta}}_n$ в указанном конкретном случае остались неопределенными, т.е. в поле рецепторов ("мемополе") именно два элемента не "сориентированы" (ни 0, ни I; см. об этом в рабо-

тах /3, I7/).

c - концепторы и $\mathcal{C}$ - поле концепторов (поле памяти, хранящей понятия и образы /8/).

Поле концепторов - $\mathcal{C}$ способно суммировать во времени или суперпонировать состояния $\mathcal{S}$ - поля особым образом /6,24/. В процессе суммирования на $\mathcal{C}$ - поле формируется образ (а не образец), если соблюдать определенную процедуру наложения "картин" на $\mathcal{S}$ - поле и его суперпонирования на $\mathcal{C}$ - поле. При материальном исполнении связи $\mathcal{S}$ - и $\mathcal{C}$ - поля можно использовать классические нейроподобные элементы /25-27/, а также квантово-волновые нейроподобные элементы /23,28/. Существенные признаки объекта в конечном счете фиксируются достаточно "нечетко" /3,29/ на $\mathcal{C}$ - поле. Эта "нечеткость" логична, закономерна и обусловлена в первую очередь структурой и особенностями проецируемых на $\mathcal{S}$ - поле объектов класса σ. Каждый отдельный объект $\sigma_i \subset \sigma$ $(i \in I = \{1, 2, \ldots, k, \ldots\})$ отличается от любого другого объекта $\sigma_j \subset \sigma$, однако их естественный общий генезис, структура и сущность предопределяют автоматическое выявление (независимое от человека или искусственно им созданной "стохастичности" связей, как это делается во всех перцептронах) концепта-объекта в форме четко поляризованных потенциально возможных, стандартизованных бинарных признаков, свойств, качеств, объектов класса σ, т.е. в форме x_i или $\bar{x}_i$. Таким образом, вместо какого бы то ни было априорного оценивания или задания распределения логических, нечетких или лингвистических переменных, мы исходим из того, что сам первичный принцип отбора из σ тех объектов, которые могут быть оценены как принадлежащие к подклассу "успешных" $\sigma^+ \subset \sigma$, как процесс, может содержать возмож-

ность ошибочной оценки со стороны человека как субъекта, принимающего решение /30,3I/. Система оценок может быть многопозиционной, но каждая частная оценка должна быть бинарной. В случае "расплывчатых оценок" следует применить систему разбиения на составные бинарные оценки. Такая система была использована в тех или иных оценочных шкалах для оценки учащихся в школе. За основу был взят принцип понятийного обучения школьников, а также принцип контроля знаний по "компонентам понятий". Итак, анализ понятий и понятийный анализ структур и систем только тогда вступают в силу, если имеется оценщик $\mathcal{H}$ и система автоматического суперпонирования $\mathcal{S}$ -полей на $\mathcal{C}$ -поля (соответствующие программы имеются /32,33/).

$\mathcal{r}$ - эффекторные элементы и $\mathcal{R}$ - поля эффекторов (поля "действия", "моторные поля"). Эти элементы связаны с $\mathcal{S}$ - и $\mathcal{C}$ - полями. Связи эти здесь и не стохастические, и не случайные, а поначалу естественно-индифферентно-неопределенные $(r_1, r_2, \ldots, r_{m-1}, r_m)$, затем по мере нарастания "оценок" и корректировок "оценок" они все более трансформируются в поляризованную "концепт-реакцию" или систему "актов поведения" ("концептуальные логические системы" или "автоматы" /6,34/).

В этой схеме $\mathcal{S}-\mathcal{C}-\mathcal{R}$ не отражен "внутренний мир" концептотрона, который существенно необходим для автоматического оценивания объектов, структур, ситуаций на основе ранее накопленных знаний, опыта, концепта.

c^*- контрконцептор и $\mathcal{C}^*$ -поле контрконцепторов.

$\mathcal{C}^*$ - поле формируется сперва как "чистое" воспроизведение хотя бы одного из объектов $\sigma_i \subset \sigma$, которое постепенно доформировывается под влиянием "личного опыта" субъекта $\mathcal{H}$ (в случае ИИ это "опыт" данной вычислительной или интеллектуальной системы). Это поле "корректируется", "преобразуется" под влиянием $\mathcal{S}-\mathcal{C}-\mathcal{R}$ -полей и под влиянием поля потребностей F (а также поля концептуального типа /3, 5/). И связи, и взаимоотношения могут быть заданы по кроссавтоматной схеме, описывающей целостное установочное поведение личности (или " Ψ - системы"). Это означает, что вся схема селекции нужных реакций "концептотрона" может быть построена на принципах логико-автоматных связей указанных полей, а не на основе случайностных связей, при которых формирование требуемой сети с нужными весами существенно связано с перебором и при большом числе элементов практически неэффективно. В случае "концептотрона", в отличие от "перцептрона", самую главную первичную структуризацию всех полей $\mathcal{S}, \mathcal{C}, \mathcal{C}^*, F, \mathcal{R}$ производят путем прямого проектирования (как на сетчатку) на $\mathcal{S}$- поле одного из первых встретившихся образцов объекта $\sigma_i^\circ \subset \sigma$. Если в самом деле σ_i° принадлежит классу σ, то этого уже достаточно для решающей подавляющей вторично-отраженной структуризации $\mathcal{C}$, а затем $\mathcal{C}^*$ ("внутренний мир"), если к системе ИКИ отнести и самого оценщика $\mathcal{H}$ и ввести концептуальное поле $\mathcal{H}^*$ (осознание успешности своего поведения, удовлетворение потребностей, удовлетворение в том, что $\mathcal{C}^*$ структуры соответствуют $\mathcal{C}$ -структурам и т.п.), то получим базовую схему для машинно-программной имитации концептотрона.

h^*- элементы внутренней оценки и $\mathcal{H}^*$ -поле оценки своего "поведения" формируются для запоминания успешности поведения всей интеллектуальной системы в целом. "Поведение" в целом концептуально, т.к. выбор одного из возможных частных актов поведения не может осуществляться без "плана редукции"

к этому частному поведению. Получаем схему, напоминающую в сильнейшей степени ситуацию, описывающую диспозицию личности перед актом поведения по теории Д.И.Узнадзе /36,37/.

Многолетние исследования школы Д.И.Узнадзе /38,39/ подтвердили все основные положения этой теории. Осталась неясной природа самой установки и механизмов редукции к конкретным актам поведения или реакций. Согласно работам /7,I0/, установка имеет концептуальную природу и ее механизмы становятся ясными, если считать, что установка есть активная система поиска частных актов поведения, реакций, выдачи решений, наводящих на решения, высказываний, установочных мыслей, что она проявляется в поведении дедуктивного типа, напоминая роль программы для ЭВМ и роль синтаксиса языка для человека. Эта гипотеза была подтверждена в многочисленных прямых опытах по предложенным нами сценариям /4I-44/. Однако отсюда еще не были извлечены все основные выводы, имеющие значение не только для теории систем и моделирования сложных интеллектуальных систем и структур, но и для исследования психической деятельности и, в особенности, продуктивной деятельности человека.

Непредвзятый человек сразу поймет, каковы те новые возможности, которые открываются перед исследователями ИИ и искусственных технических и естественных систем, если принять за основу теории ИИ и роботов положение о том, что они не будут сколько-нибудь успешно функционировать, если за основу не принять интеллебионический принцип о том, что вторичное в истории человечества машинное познание внешнего мира, его систем возможно лишь путем построения таких интеллектуальных систем, которые будут автоматически и универсальным образом обрабатывать входную информацию, подражая механизмам мышления,

выработанным в процессе длительной эволюции /20,45/ ("естественный отбор решений").

Все иные пути более чем не оптимальны, они просто связаны с неэффективным поиском новых алгоритмов и программ при решении каждой новой задачи. Этот "высокого уровня" полуэмпиризм поиска программ для ИИ не может бесконечно продолжаться, несмотря на создание отдельных блестящих программ. В конечном счете внимательный анализ показывает, что все наиболее успешно действующие программы обязаны пошаговому построению алгоритма "от начала до цели и обратно" или соответствующей машинной программы. Это означает, что все успехи алгоритмов и программ в скрытой форме (не осознаваемой их разработчиками) обязаны ранее уже пройденным путям от "начала" до "цели" в интуитивной форме, в форме частичного фиксирования неуверенных "шагов на бумаге". В этом плане бумага, на которой пишется программа на одном из "языков программирования весьма высокого уровня", ничем по существу не отличается от того, что ежедневно совершают люди, планируя свои действия. Это не умаляет ни тех, кто аналитически выражает свои мыслительные шаги от "начала" до "цели", ни тех, кто, зная "атомы" и "молекулы" программирования (т.е. "элементарные операции и автоматные операции"), перепоручает "полный синтез" программе и затем ЭВМ. Вот почему "чистые абстрактные программисты" все еще не сильно чувствуют наступление эвристиков и сторонников теории ИИ. Однако имеются еще проблемы ИИ, которые, не будучи разъяснены, будут вызывать чувство неудовлетворенности у тех, кто задачей науки считает поиск т.н. точных и однозначных законов, закономерностей (алгоритмов). Не будем с ними спорить, это невозможно. Они не поняли, что слово "модель" и характерные

многочисленные эквивалентные программные реализации поведения одного и того же объекта говорят о том, что не только поиски бывают разными, параллельными, но и сами системы, структуры, явления, ситуации размыты, нечетки, что это лежит в основе их природы и потому в основе нашего миропонимания, в основе всей диалектики природы. Диалектическое познание многообразия мира на основе понятийного подхода необходимость, а не мода. Природа меньше всего заботится о привычках, комфортности интеллектуального, в том числе и научного, труда. Этот новый подход, целиком и полностью соответствующий диалектической теории познания и диалектико-материалистической онтологии, к сожалению, не принят в среде лиц физико-математического или инженерного образования. "Технизация", "машинизация" и, что то же самое, опора на уже разработанные математические средства невольно заставляют их все упрощать. Все еще встречаются исследователи в сфере медицины, пытающиеся свои "нечеткие" структуры втиснуть в "прокрустово ложе" "данайских даров" матстатистики и математики, теории дифуравнений и других сверхупрощенных, но и в то же время внешне сильно символизированных теорий. В одной из глав будут рассмотрены вопросы извлечения информации из наблюдательных данных на примере основных концептуальных информационных процессов.

2. Общие вопросы моделирования больших и сверхбольших систем

"Трудности системного анализа коренятся в самой природе... проблем. Другие методы не позволяют их преодолеть и имеют свои собственные ограничения... Системный анализ дает основу для сочетания знаний и опыта специалистов многих

областей при нахождении решений, трудности которых не могут быть преодолены на основе суждений любого отдельного эксперта".

/Чарлз Хитч/.

2.I. Введение

Проблема моделирования суперсистем (больших, сверхбольших и др. систем) может быть разбита на несколько подпроблем:

I. Собственно проблема моделирования суперсистем.

2. Проблема моделирования естественных суперсистем.

3. Планирование, проектирование, конструирование и исполнение суперсистем.

4. Построение теории принятия неформальных и формальных решений в процессе функционирования суперсистем.

5. Оценка эффективности суперсистемы на этапе проектирования, исполнения и функционирования.

6. Прогнозирование развития суперсистем с учетом целенаправленных изменений, ограничений внешних воздействий и управляющих воздействий (согласованных и не согласованных между собой).

7. Проблема выбора критериев оценки эффективности и оценки экспертиз.

8. Проблема извлечения информации из данных и измерения характеристик показателей.

9. Проблема оперативного управления суперсистемами в различных ситуациях на основе формальных и неформальных методов управления и человекомашинных методов поиска решений.

Нас будут интересовать некоторые аспекты первой и восьмой

проблем, хотя придется обсуждать и другие аспекты и осветить общие подходы к проблемам системного анализа на основе бионических принципов и принципов, вытекающих из теории концептуального интеллекта и искусственного концептуального интелекта.

2.2. Основной бионический принцип системного анализа

В работах по общей теории концептуальных систем ("ОТКС") /3/, теории искусственного концептуального интеллекта и ее приложениям /4/, по теории принятия решений /31/ и вероятностно-концептуальному программированию /46/ выражены основные подходы не только к проблемам искусственного интеллекта в узком смысле слова, но и к проблемам моделирования больших и сверхбольших систем. Сформулируем основной бионический принцип: моделирование суперсистем (следовательно, больших, сверхбольших и макросистем) должно производиться на понятийном языке (естественном для человека) и трансформироваться в особый формализованный язык (который отражает самые существенные особенности и понятийного мышления, и структурной организации, и функционирования мозга человека), который представлен в процедуризированной машинно-программной форме. Этот принцип будем называть интеллектуально-бионическим принципом ("интеллебионика"). Основанием к признанию этого принципа следует считать следующее соображение. Весь эволюционный путь, пройденный человеческим мозгом в процессе его функционирования в реальной среде, в мире из естественных и искусственных объектов, в самой существенной части отражает реальный мир, природу и общество. И этот мир дан человеку на его естественном языке. Именно эти "внешние проявления" человеческого

мышления и особенности структуры мозга необходимо взять за основу "возвратно-вторичного", машинно-программного моделирования и в качестве основной идеи при попытке моделирования суперсистем (макросистем, общих систем, больших систем). Это и есть основа подхода общей теории концептуальных систем /3/ к проблемам системного анализа. В такой общей форме эта мысль кажется абстрактно-теоретической, отвлеченной и не реалистической. Любой другой подход, менее опирающийся на общие принципы кибернетики, бионики, приведет к непреодолимым трудностям или неправоподобным упрощениям.

2.3. Как следует подходить к проблеме оценки суперсистем и многопараметровых систем с точки зрения КСА?

Всем ясно, что исследование суперсистем со многими параметрами, связями, отношениями, характеристиками и т.п. порядка сотен, тысяч и более переменных и данных в условиях, когда не установлены и неизвестны критерии оценки систем, подсистем и даже принципы подразделения их на подсистемы и отбор существенных переменных, параметров и т.п., есть наиболее тяжелая задача.

Сегодняшние возможности ЭВМ таковы, что фактически нет боязни обращения с большим числом данных и переменных. И все-таки отсутствие достаточно общего метода для "непредвзятого" выявления существенных переменных, связей и отношений заметно ощущается. Попытаемся выявить те "страхи" (не предрассудки или "театры", как сказал бы Ф.Бэкон), которые мешают нам правильно представлять такого типа задачи не на уровне алгоритмов и программ или "внутри машины", а на уровне изучения, классифи-

Замечательно! начало с чтобы прозвучало, а конец – точно бы !! понятие ..

что "задание" слов-понятий или их "проекций", т.е. занятие лингвистов, не такое уж простое дело и число битов, определяющих относительно простые понятия, достигает порядка 100-300. Не потому ли лингвисты, составляющие толковые и иные словари, так упорно годами спорят о смысле определений тех или иных слов? Да, это именно так. И это означает, что число битов, определяющих "точность" слов-понятий, порядка 100-300 бит. (в среднем). Так что, когда ребенок подбирает подходящее слово для того, чтобы выразить свое отношение к явлению, он осуществляет гораздо более тонкую измерительную процедуру, чем любой исследователь при своих тонких и тончайших физических измерениях. В чем же различие исследователя и человека практики? В объективации. Один объективирует вычислительные знания на бумаге, а другой оперирует длинными высказываниями, афоризмами, теориями. У первых совпадение с наблюдательными данными легко проверяется и разные лица легко приходят к соглашению, у вторых проверка затруднена, соглашение недолговечно. У первых работает математический аппарат, а у вторых единственное моделирующее средство – это "живой" или научный язык. Граница почти неуловима, но она отделяет "рационалистов" от "нерационалистов", "технократов" от "нетехнократов", "позитивистов" от всех "непозитивистов".

3. Об исчислении неизмеримых в количественном смысле переменных и данных

3.1. О введении данных и переменных в концептуальном системном анализе

В качестве данных или переменных, согласно ИКИ /1-3/, можно брать сами слова, понятия, высказывания, рисунки, графики, их части и т.п.

Будем называть такие переменные копеременными и коданными (концептуальными переменными и концептуальными данными). Эти копеременные или коданные сами по себе могут присутствовать в теории в качестве числовых, буквенных, словесных, образных и т.п. модельных данных тех реальных динамических систем, структур, которые они представляют, изображают, заменяют, т.е.

$\check{x}_i$ представляют $\check{\mathcal{X}}_i = \begin{cases} \mathcal{X}_i \\ \overline{\mathcal{X}}_i \end{cases} \quad (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$

$\check{a}_j$ представляют $\check{\mathcal{A}}_j = \begin{cases} \mathcal{A}_j \\ \overline{\mathcal{A}}_j \end{cases} \quad (j \in J = \{1, 2, \dots, m\})$

каждое из $\check{x}_i$ или $\check{a}_j$ может быть представлено в простой или сложнопозиционной бинарной форме при проектировании их частных неизвестных или известных (соответственно) значений. $\mathcal{X}_i$ может означать понятие "город", $\overline{\mathcal{X}}_i$ – ("не город"); $\mathcal{X}_i$ может быть частью картины, образа, карты и т.п.

Пусть для простоты в дальнейшем $\{\check{x}_i\}$ – неизвестная бинарно заданная или описанная переменная

т.е. $x_i = \begin{cases} x_i \\ \overline{x}_i \end{cases}$, где $i \in I$

А $\check{P}^i_\ell$ – набор признаков, оценок, т.е. любых "слов", фиксирующих переменную x_i (например: $\{P^i_1, \overline{P}^i_2, P^i_3, \overline{P}^i_4, \overline{P}^i_5, \dots, \overline{P}^i_k\}_{x_i}$).

Пусть $\{\check{a}_j\}$ также бинарно заданная известная переменная (фиксированная), т.е.

$$a_j = \begin{cases} a_j \\ \overline{a}_j \end{cases}, \quad j \in J.$$

Если теперь задан полный набор концептуальных переменных и данных о некотором классе объектов В, т.е. К (В), то мы получаем возможность описывать в сокращенной форме класс объектов, а не один встретившийся объект. Необходимо объяснить, почему объект мы обязаны характеризовать двумя видами величин, т.е. почему объект должен одновременно характеризоваться как копеременными, так и коданными.

В самом деле, в сфере общих систем (больших, сложных, суперсистем и т.п.) не может быть ситуации, когда мы автоматически, априорно знали бы все те свойства и признаки объекта В из класса К (В), которые нужны для того, чтобы обоснованно судить о В или B^I из К (В) и т.д. Это означает, что сбор данных и его правильная структуризация приобретают решающее значение для концептуального системного анализа.

Все ли мы знаем, например, о поведении объектов такого класса, как вновь построенный город B_I? Можем ли мы точно и одновременно четко зафиксировать все возможные свойства, известные из опыта изучения других городов? Мы можем что-то о нем не знать из того, что знали из истории других городов.

Мы можем знать, что a_r -й признак у города B_I имеется, но не знать, что он уже определенно "ориентирован" как-то (либо a_r, либо $\bar{a}_r$) и, следовательно, имеем ситуацию x_r или $\bar{x}_r$, или, наоборот, знать, что он ориентирован как x_r, но не как $\bar{x}_r$.

Иначе говоря, объекты В могут характеризоваться дискретным набором коданных или копеременных нечетко, размазанно. Но это будет происходить по двоякой причине: либо по природе собственно объекта, либо по природе нашего незнания (по причине ошибок измерений, обработки данных, либо по природе ошибочных предположений субъекта, описывающего объекты B_I, B_2 . . . , относящиеся к классу К (В)). Плохо или хорошо то, что в качестве универсальных бинарных (или позиционно-бинарных) введены копеременные или коданные? Следует считать, что такой подход отражает исконную природу бытия - его двузначность, что в эволюционном плане отражено как в структуре реакций нейронов /45/, так и в структурированности функционирования

мозга в процессе мышления. Все это хорошо известно логикам и философам, но эти положения не стали краеугольным камнем анализа систем. Если мы будем исходить из того, что все данные представлены нам как безошибочные и мы навсегда избавлены от ошибок и что, кроме того, один раз замеренные характеристики объекта B_I, B_2, ..., незыблемы, то мы допустим ту же ошибку, которую совершают ныне все те, кто занят статистикой больших систем, поведением больших систем, моделированием систем и системным анализом. Не давая наперед "степеней свободы" по допущению неточности, неясности, незнания, ошибок, мы тем самым невольно допускаем ошибки высшего порядка, вводя в теорию субъекта, строящего теорию "по своему субъективному восприятию". Тем самым устраняется какая-либо возможность найти объективную закономерность в сложнейших процессах и событиях. В теории моделирования и анализа суперсистем опасна субъективная предвзятость, опасно введение предварительных гипотез, критериев, оценок.

В самом деле, вероятность того, что человек, взглянув на термометр, определит давление и ошибется, мала и может не приниматься во внимание, но что он, раз "взглянув" на город, определит его нужды, правильно и навсегда вычислит все данные, перенесет их в ЭВМ и примет правильное решение, это в самом деле маловероятно. А ведь мы все, имея столь мощный интеллектуальный аппарат для исчисления как мозг, явно превосходящий ЭВМ, только и занимаемся такими, мягко говоря, интерпретациями и решениями: "это хороший город", "этот город непонятный", "здесь все спокойные", "здесь все знают друг друга" и т.п. Даже получив исчерпывающие статистические и иные данные о городе, мы еще не знаем того, чем не располагает город, мы еще

не знаем, насколько все данные точны, достоверны, не перепутаны и т.п. И нечего говорить о тех характеристиках города, которые порождаются "взаимодействием" различных параметров, подобъектов и т.п. (глобальные структуры, процессы их описания). Разве это не причина тех массовых ошибок, которые совершают те, владеющие ЭВМ, кто, совершенствуя управление городом только через АСУ, не знают природы вмешательства своего субъективного мышления. То, что необходимо создавать АСУ, бесспорно, но нужно сделать, чтобы не возникали формулы типа "поручик Киже". Пока люди применяют свои способности, эти ошибки возникают редко, но при фетишизации ЭВМ они будут возникать массово. необходимо иметь "критику чистого машинного разума".

4. Большие системы, их характеристики и описания

В качестве объекта вновь изберем город В. Иногда про город говорят, что "он веселый". Пусть это есть высказывание, которому верят все в данном городе и вне его, и пусть это так и есть на самом деле. Что мы должны сделать в таком случае? Необходимо ввести еще дополнительные "коданные" или "коперемменные" $\check{a}_{m+1}, \ldots, \check{a}_{m+\ell}$ и определить раз и навсегда их "ориентацию" (например, a_{m+1} - "веселый", а $\bar{a}_{m+1}$ - "не веселый" и т.д.). Даже если вместо слова "веселый" у нас будет газетный очерк об этом городе, в котором будут описаны его особенности, мы можем считать, что это бинарно заданное многопозиционное "коданное", и обозначить его через a_{m+1} или $\bar{a}_{m+1}$ (подразумевая под $m+1$ номер "листа", который вобрал в себя все описание В и который может быть размещен по частным бинарным признакам, в свою очередь, на "бинаризованных"

"подлистах" и т.д.). Но ведь именно это обстоятельство до сих пор и отпугивало всех от "исчисления данных в сфере гуманитарных наук". Тут следует выделить две труднопреодолимые психологические проблемы.

А. Человек точных наук почти всегда определенно и четко "ориентирован" в своих суждениях и как догматик считает, что не существуют и, в принципе, недопустимы неопределенности, нечеткие переменные, знания, закономерности и т.п.

Весьма трудно прочесть очерк о городе и сразу представить себе, каков конкретно другой, "противоположный" город. Именно эта особенность сложных, больших или сверхбольших систем заставляет многих теоретиков, логиков, системщиков и кибернетиков опустить руки. В самом деле, вы только что прочли в газете очерк о В, каковы же другие города? Все ли они плохие, или все ли они хорошие? Пригодны ли бинарные оценки для оценки городов, объектов типа больших систем, подсистем? Города как суперсистемы образуют нечеткие "структурные тела", они нечетки почти по всем своим показателям, переменным, но это вовсе не означает, что они не объекты для исследования, что их исследование следует отложить до лучших времен.

Мы должны заключить, что системные объекты всегда сложны, "расплывчаты", "нечетки"; структуры и процессы, происходящие с ними, и их поведение существенно "неопределенны" и это их сущность, их истинная природа, их форма существования /29, 47/. С другой стороны, и представление человека об этих объектах также "нечетко", "неопределенно", что также связано с развитием и организацией мозга в процессе эволюции, который в процессе формирования "перенял" эту ведущую особенность внешнего мира. Именно поэтому мозг любой персоны субъективен, а

следовательно, "мир-Ш" /I/ не совпадает с "миром-I". Но, будучи частным, субъективным отражением "мира-I", он приспособлен к объективному миру, он самоорганизуется, адаптируется прижизненно, профессионально, социально, психологически и, следовательно, совокупно с другими субъективными "мирами типа Ш", в процессе познания и практики все точнее и точнее познает "мир-I".

Вот почему сотни тысяч граждан, высказываясь о своем городе и отвечая на сотни вопросов, невольно все вместе отражают то, что исследуют , т.е. истинное "тело города" (в смысле "мира-Ш"). Но это "тело" нечетко и неопределенно, хотя эта неопределенность не есть простая "размазанность". Она определенно распределена и описываема через дискретные и концептуальные распределения. К сожалению, составители экспертных, оценочных и иных тестов (типа ММР-I и др., которых развелось слишком много) увлеклись не составлением тела "города" или "личности", а стали предсказателями, сознательно или несознательно научными "гадалкэми". Не имея метра в форме "концепта", нельзя другим передавать сообщения о том, каково наше понятие о К (В) и т.п. Можно ли изучить структуру современного города, изучив всего навсего один, но характерный город? Да, можно, хотя математическая статистика это бы отрицала. В известных условиях это можно. Избыточное обеспечение различными данными позволит изучить системный объект лучше, чем его изучают матстатистики путем включения в свои отчеты только лишь количества потребляемой энергии, топлива, мяса, молока и т.п. В этом случае много городов изучается одним человеком на основе таблиц и данных и составляется по определенной процедуре его бинарный концепт /2/; во втором случае характерный город изучается с помощью опроса десятков и сотен тысяч людей при помощи очень большого числа тестовых или иных экспертных оценок. Здесь объективное устанавливается с помощью пересечения десятков тысяч субъективных многомерных оценок. Ясно, что таким образом мы автоматически получаем некие распределения для всех параметров и переменных. Это и есть путь получения законов распределения по Л.Заде.

Б. Вторая психологическая трудность заключается в том, что человек, чувствуя отсутствие числовых данных, точных сведений, осторожничает, и либо подбирает слова- понятия слишком общие, либо приписывает ту или иную степень достоверности (недостоверности) высказываниям ("по-видимому", "кажется"), либо высказывается в модальных категориях ("возможно", "необходимо" и т.п.) "Суперпонировать" такие высказывания весьма трудно (т.е. находить "общий наименьший множитель" или "орты" высказываний). В случае лингвистических дифференциалов Осгуда в целях оценки суперпонируют по установленным экспериментально ортам оценок слов и выражений. Кроме того, приписав высказыванию вероятность или нужную количественную оценку ("субъективную вероятность", как у Л.Заде), исследователь теряет связь с самими данными. Работать в этом случае непосредственно с буквами "алфавита" (как в теории автоматов или при программировании на ЭВМ) не удается и степень глубины анализа явно уменьшается. В самом деле, люди с удовольствием читают и слушают, что случилось с конкретной личностью, но почти индифферентны к вероятностным или статистическим данным. NB!

Если задано соотношение $P_1(A_1)+P_2(A_2)+\dots+P_n(A_n)=1$, то "восстановление" того, какая "переменная" сейчас "выпадет" (см. работы по методам типа Монте-Карло /48-50/), не дает одно-

значного ответа на вопрос, что за "событие" может "выпасть" в качестве следующего события:

$$\{A_1\},\ \{A_2\},\ \dots \quad \text{или} \quad \{A_n\}.$$

Вот почему в этом случае "обратная операция взятию вероятности" неоднозначна и неэффективна:

$$\text{arc prob}\ \{(A_i)\} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}.$$

Это не позволяет строить сети событий, не продлевая их однозначно ни в "прошлое", ни в "будущее". Именно по этой причине в серии работ /51-53/ был предложен метод исчисления "атомарных", "бинарных" вероятностей событий или значений признаков (свойств, понятий, высказываний и т.п.), т.е. событиям (переменным, данным) сопоставляются бинарные вероятностные оценки по схеме:

$$(A) = \begin{pmatrix} A_1, \overline{A}_1, A_2, \overline{A}_2, \dots, A_n, \overline{A}_n \\ P_1, \overline{P}_1, P_2, \overline{P}_2, \dots, P_n, \overline{P}_n \end{pmatrix}.$$

При этом для всех

$$P_i + \overline{P}_i = 1 \qquad i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$$

бинарная переменная $\check{A}_i$ может быть представлена в виде вектор-матрицы 2-го ранга

$$A_1 = \begin{pmatrix} A_1 \\ \overline{A}_1 \end{pmatrix}, \dots, A_n = \begin{pmatrix} A_n \\ \overline{A}_n \end{pmatrix}$$

$$\text{prob}(\check{A}_1) = \begin{pmatrix} P_1(A_1) \\ \overline{P}_1(\overline{A}_1) \end{pmatrix}, \quad \text{arc prob}(\check{A}_1) = \begin{pmatrix} A_1 \\ \overline{A}_1 \end{pmatrix}$$

и так для всех событий $\check{A}_i$, сколько бы их ни было.

Если набор копеременных или коданных содержит даже десятки тысяч копеременных или коданных, это не влияет на степень однозначности восстановления всей "картины", всего "тела системы". Вся эта процедура напоминает введение вторичного квантования в квантовой теории поля. Роль осцилляторов поля играют

бинарные и независимые "атомарные" события.

4.2. Исследование "тела систем" при помощи поля копеременных и коданных

Если мы желаем моделировать суперсистему (систему, большую систему или сверхбольшую систему), можно разбить все измеряемые или определяемые характеристики систем на те, которые физически измеримы, или на те, которые численно не выражаемы, просто не измеряемы. К сожалению, многие системщики такие данные или просто не привлекают, или отбрасывают, считая их "чуждыми" для их точной науки.

Следует до конца понять, что в задачах системного анализа не существует иного пути, как считать за копеременные и коданные любые высказывания (не в смысле матлогики), любые сообщения. Так, например, все высказывания специалистов по вину, чаю и др. продуктам, оценивающих качество вина или чая, сами по себе суть понятия (субъективные, объективные), поэтому у двух дегустаторов оценка качества вина может расходиться (потому и происходят время от времени массовые дегустации). Чем больше "ортов" объективной оценки (кислотность, сахаристость и т.п.), тем легче ориентироваться среди сортов вин, способов их приготовления и т.п.

Если бы человек мог измерить все физические и химические компоненты, характеристики вина (их более 100), то и тогда не отпала бы необходимость в его дегустировании (со стороны специалистов-профессионалов). С другой стороны, конечно, при каждом заводе можно было бы содержать более 100 дегустаторов для того, чтобы при помощи частных распределений ("траекторий") найти соответствующее концепт-распределение /1-3/.

В чем же выход? Выход заключается в том, чтобы любые данные объединять в смешанный "образ-понятие". Часть данных фиксируется как мозаичный набор рисунков, высказываний, предложений, оценок, числовых данных, параметров. Адреса "топосов" и "хроносов" /54/ должны быть заданы особым образом. В качестве копеременных указываются те свойства, признаки, характеристики, параметры, которые, в принципе, могли бы влиять, но "поляризация" которых наперед не известна. При таких смешанных картинах "О-П" ("образ-понятие") возникает проблема упорядочения и отображения десятков и сотен тысяч данных и подкартин. Самый простой способ заключается в получении и отображении картины типа "О-П" в том виде, в каком она получилась (как на картах, где надписи, условные знаки, географические знаки и изображения представлены вперемежку).

Операция упорядочения заключается в разделении (по топосам и хроносам) всех элементов между собой ("подкартинки", образы в одном углу, понятия - в другом). Это напоминало бы раздельное хранение данных мозгом в левом и правом полушариях. Возможно хранение данных в виде "обобщенных карт" ("ОК" типа картины), когда на образ-картинах по соответствующим топосам размещаются и соответствующие цифровые данные, понятия, слова- названия, слова- понятия и т.п. Этот способ удобен для отображения данных при помощи дисплеев, графопостроителей и АЦПУ.

Далее, автоматическое выделение ядра- концепта "О-П" протекает по процедурам ИКИ /I-3/. Отбор ядер-концептов подкартин (подпонятий, сложных признаков и т.п.) также происходит автоматически в процессе суперпонирования подкартин и

картин. При этом не требуется со стороны человека или программы ЭВМ какого-либо особого учета субъективных гипотез, предположений. Однако метод составления концепта "О-П" способен справиться и с этой задачей. В самом деле, достаточно в "О-П" поместить в отдельных "топосах" эти априорные оценки, гипотезы, высказывания и т.п. и пустить эту новую картину типа "О-П" в схему "концептотрона", как автоматически будет выявляться валидность этих априорных оценок, гипотез и высказываний с учетом расчета "точек" пересечения общих свойств, признаков, параметров подкартин с "априорными данными", со всей новой картиной "О-П".

Такова общая схема (метод допустимых гипотез) проверки валидности априорных предположений произвольной сложности (вплоть до системных теорий о той или иной суперсистеме). Предполагается при этом, что на S -поле могут быть включены наравне с измеренными данными в любом числе словесно выражаемые данные, высказывания, гипотезы и оценки. Эти априорные данные, если они высказываются экспертами, просто специалистами или участниками тестов, опросов, после обработки по схеме "концептотрона" или программы по выработке концептов и "ядер-концептов", по теории ИКИ приобретают силу индуктивных знаний, полностью подобных тому пути, который воспроизводит мыслящий мозг в процессе выработки понятий. "Интеллебионика" в этом смысле должна развиваться как в направлении совершенствования программного обеспечения, так и в направлении создания систем искусственного разума (в частности, "концептотрона") как искусственных интеллектуальных систем, способных, согласно законам физики и кибернетики, имитировать основные схемы по воспроизведению интеллектуальных функций: индукции, дедук-

ции, абдукции, распознавания, принятия решений и др.

Нами не рассмотрены вопросы имитации творческого мышления ни на основе знаний кибернетики мышления, ни на основе раскрытия психофизиологических основ мышления /55-57/. Надо не только строить модели таких сложнейших процессов, какими являются интеллектуальные процессы, и уметь решать не только такие будто бы "простые задачи", как разработка новых физических и бионических принципов переработки информации, но и непосредственно в материальной форме создавать эти средства как технические элементы, материалы, блоки и устройства. Этого требует современная промышленная практика, этого требуют в высшей степени массовидные задачи, начиная с детектирования и обработки технологических процессов на производстве и кончая созданием АСУ, роботов и систем искусственного интеллекта. Задача свободного обращения с "картинами", помимо физического, физико-кибернетического, физико-химического, бионического аспектов, имеет и другую сторону, связанную с "взятием", "сбором" очень большого числа данных непосредственно о таких пространственно-временных областей, которые не могут быть охвачены единым образом, взглядом одного человека (экономические показатели, производство, совхоз, город, ландшафтные регионы и т.п.). В этом случае, а именно к нему и сводятся все основные случаи при исследовании суперсистем, требуют отказа от частных, эмпирических полутеоретических путей исследования суперсистем. Именно в этом пункте требуется, чтобы системный анализ располагал базовыми концепциями подхода к своим проблемам как в смысле создания физических и иных искусственных средств по имитации интеллектуальной деятельности естественного мыслительного аппарата, так и в смысле методов переработки параллельных потоков информации, содержащих огромное число качественно многообразных элементов информации.

Все это говорит о том, что необходимо иметь не только общую модель системы искусственного интеллекта (в форме ИКИ), но и общую теорию целевого программирования, общую теорию фильтрационного программирования и общую теорию эвристического программирования и т.п.

Особенности задачи системного анализа, как никакие другие задачи, четко осветили те трудности, которые следует преодолеть при решении проблем. Какими средствами обрабатывать информацию о суперсистемах? Как обрабатывать информацию о суперсистемах? Как осваивать и формулировать полученную информацию?

Могут спросить, не есть ли все это отвлечение от задач непосредственной практики, задач и проблем народного хозяйства? Нет, это явно не так. Трудно перечислить хотя бы одну сферу практики, которая бы не нуждалась в научном подходе. Таковы проблемы "качества", "эффективности систем", выбора "критериев", "экспертных оценок", профессионального отбора, оценки качества обучения и т.п.

Все вышеперечисленное нуждается не только в научном определении, но и в процедуре объективного воспроизводимого вычисления. Только в этом случае современные задачи практики создания организационных, производственных и других систем управления смогут решаться на единой научной основе.
Нет и не может быть взято за основу иного, более общего принципа, чем принцип интеллебионики для целей осуществления наиболее эффективной имитации естественных информационных процессов средствами и развертывающимися возможностями совре-

менной технологии, физики, химии, бионики, кибернетики, вычислительной техники, информатики, теории и практики искусственного интеллекта.

Литература

I. В.В.Чавчанидзе. Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход). Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Тбилиси, 1976, стр. 7.

2. В.В.Чавчанидзе. Аналитические эвристики искусственного интеллекта при формировании понятий, опознании образов и классификации объектов. Деп. ВИНИТИ, 80-70.

3. V.V.Chavchanidze. Towards the General Theory of Conceptual Systems. Kybernetes, v.3, N 1, 1974.

4. В.В.Чавчанидзе. К построению ОТС как общей теории концептуальных систем и управления (ОТКСУ). Сообщения АН ГССР, т.63, № I, 197I.

5. В.В.Чавчанидзе. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем" (Медицина, наука, техника), г.Батуми, 24-28 апреля 1973,3.

6. V.Chavchanidze. Actes du 6^{e} Congres International de Cybernetique. Namure (Belgique), 1972, 186-206.

7. V.Chavchanidze. Towards Conceptual Nature of the Mechanisms of set Behaviour. Abstract Guide of XX International Congress of Psychology, Tokyo, 1972.

8. В.В.Чавчанидзе. К вероятностно-концептуальным принципам организации памяти. ДАН, т.219, №4, 1974.

9. В.В.Чавчанидзе. Аналитическое решение задачи формирования понятий и распознавания образов. Сообщения АН ГССР, т. 61, № I, 197I.

I0. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева. Аналитический фильтрационный метод формирования понятий. Сообщения АН ГССР, т.65, № 3, 1972.

II. В.В.Чавчанидзе. К вопросу о природе интеллектуальных игр с точки зрения искусственного концептуального интеллекта. Сообщения АН ГССР, № 66, № 2, 1972.

I2. В.В.Чавчанидзе, М.Г.Ахалая, С.А.Баазова, А.В.Корнеева, К.М.Лианозов. Формирование понятий в применении к задачам медицинской диагностики и прогнозирования. Материалы I Республиканской конференции по применению математических методов и вычислительной техники в здравоохранении и медицинской науке. Тбилиси, "Мецниереба", 197I.

I3. Э.Хант , Дж.Марин, Ф.Стоун. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. Перевод с англ., "Мир", М., 1970.

I4. У.Рейтман. Познание и мышление. Моделирование на уровне информационных процессов. Перевод с англ. "Мир", М.,1968.

I5. E.B.Hunt. Concept learning; an information processing problem, Wiley, New York, 1962.

I6. Сб. Вычислительные машины и мышление. "Мир", М.,1967.

I7. К проблеме распознавания образов и об универсальной природе концептуальной интеллектуальной активности. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем" (Медицина, наука, техника), г.Батуми, 24-28 апреля,1973.

I8. М.В.Чавчанидзе, И.Ш.Челидзе. О путях моделирования концепт- ансамблей нейронов, формирующих понятия и классифицирующих траектории". Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту.

Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход), Тбилиси, 1976, 148.

19. В.В.Чавчанидзе. Квантово-информационные переключательные функции. Сообщения АН ГССР, т.58, № 2, 1970.

20. В.В.Чавчанидзе. К квантово-волновой теории когерентной модели мозга. Деп. ВИНИТИ, № 4058-72, Тбилиси, 1971.

21. В.В.Чавчанидзе. Проблемы моделирования мышления. Сб. "Вопросы кибернетики", вып.19, М., 1976.

22. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Психозвристическое программирование. Под ред. акад. АН ГССР В.В.Чавчанидзе, "Мецниереба", Тбилиси, 1974.

23. В.В.Чавчанидзе. Квантово-волновые нейронные когерентные сети (гологологика когерентных нейронных сетей). Сообщения АН ГССР, т.60, № 1, 1970.

24. В.В.Чавчанидзе. К вопросу о пространственно- временных квантово-волновых процессах в нервных сетях. Сообщения АН ГССР, т.59, № 1, 1970.

25. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. К вопросу об аналитическом описании нейронов и нейронных сетей. Сообщения АН ГССР, т.46, № 3, 1967.

26. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. К вопросу математичеокого моделирования нейронных сетей. В сб. "Теоретические вопросы бионики", "Мецниереба", Тбилиси, 1966.

27. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. Описание вероятностных нейронных сетей с помощью стохастических переключательных функций. Сообщения АН ГССР, т.58, № 1, 1970.

28. В.В.Чавчанидзе. К теории квантово-волновых автоматов. Сообщения АН ГССР, т.59, № 2, 1970.

29. Р.Беллман, Л.А.Заде. Применение решений в расплывчатых условиях. В сб.перев. "Вопросы анализа и процедуры принятия решений", Под ред. канд. физ.-мат.наук И.Ф. Шоклова, М., 1976.

30. В.В.Чавчанидзе. Теория принятия концептуальных решений. Вопросы кибернетики, № 8, М., 1975.

31. В.В.Чавчанидзе. Намечение цели, планирование, принятие решения с точки зрения логики интересов в кибернетике, ч.I. Деп. ВИНИТИ, № 20, 1964.

32. Е.И.Хонелидзе. Машинная программа "CONCEPT" для расчета концептов в системе ИКИ. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем" (Медицина, наука, техника), г.Батуми, 24-28 апреля 1973.

33. Е.И.Хонелидзе, С.З.Тигишвили. Общая машинная программа "GC-I" для вычисления концептов ("вычислимых понятий") по теории искусственного концептуального интеллекта". Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (концептуальный подход), Тбилиси, 1976.

34. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Челидзе. Об одном возможном подходе к построению концепт- ансамблей нейронов. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем" (Медицина, наука,техника), г.Батуми, 24-28 апреля 1973.

35. Т.Ш.Такадзе. Концептуальный подход в описании комплекса потребностей моделей поведения. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход), Тбилиси, 1976.

36. Д.Н.Узнадзе. Экспериментальные основы психологии установки. Тбилиси, 1961.

37. Д.Н.Узнадзе. Экспериментальные исследования по психологии установки, т.2, Тбилиси, 1963.

38. А.С.Прангишвили. Исследование по психологии установки, Тбилиси, 1957.

39. Н.Т.Бжалава. Психология установки и кибернетики. М., 1968.

40. В.В.Чавчанидзе. Концептуальная природа механизмов установки. Сообщения АН ГССР, т.69, № 3, 1973.

41. А.Г.Дундуа, Н.М.Бахтадзе, Л.Г.Кадагишвили, М.Н.Кецба, Н.И.Иремашвили. Эксперимент по концептуальным механизмам установочного поведения. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем", г.Батуми, 24-28 апреля, 1973.

42. А.Г.Дундуа. О механизмах иллюзии понятия на основе гипотезы о концептуальной природе установки. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (концептуальный подход), Тбилиси, 1976.

43. В.С.Радзиевский, Г.Ш.Такадзе, Н.Г.Ломашвили, Т.Г.Кавтарадзе, М.В.Баткуашвили. Восприятие в неопределенных ситуациях на основе гипотезы о концептуальной природе установки. Там же.

44. Д.Г.Гаручава, Т.В.Береникашвили, Л.Г.Кадагишвили. Ошибки установочного субсенсорного восприятия с точки зрения теории концептуального интеллекта. Там же.

45. В.В.Чавчанидзе. К эволюционным механизмам биорезонансов интерферирующих потоков сигналов в нейронных сетях на основе когерентной модели мозга. Сообщения АН ГССР, т.65, № 2, 1971.

46. В.В.Чавчанидзе. Эвристико- концептуальное программирование в форме таблиц решений. ДАН, т.230, № 6, 1976.

47. Л.А.Заде. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. В сб. перев.статей "Математика сегодня", М., № 7, 1974.

48. В.В.Чавчанидзе. Известия АН СССР, серия физ. 19, 629, 1955.

49. В.В.Чавчанидзе.Труды Института физики АН ГССР 3,105,1955.

50. V.V.Chavchanidze, R.S.Shaduri, V.A.Kumsishvili.Monte Carlo Colculation of an Electron photon Cascade in nead. Soviet Physics TETP, v.34 (7), N 4, October, 1958.

51. В.В.Чавчанидзе. Теория информационных функций. Сообщения АН ГССР, т.XXXIII, № 2, 1963.

52. В.В.Чавчанидзе. Основные соотношения аналитической теории алгебры высказываний. Сообщения АН ГССР, т.XXXIII, № 1,1964.

53. В.В.Чавчанидзе. Стохастические переключательные функции. Сообщения АН ГССР, т.51, № 2, 1968.

54. В.В.Чавчанидзе. Описание функционирования естественного интеллекта как задачи типа "блуждание" в бинарных дискретных пространствах. Сообщения АН ГССР, т.80, № 2, 1975.

55. П.К.Анохин. Биология и физиология условного рефлекса. Медиздат, М., 1969.

56. Конорский Дж. Интегративная деятельность мозга. "Мир", М., 1969.

57. Ф.В.Басин. Проблема бессознательного. "Медицина", М., 1968.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Корнеева А.В.

I. Введение

Основной целью разработки проблемы "Искусственный интеллект" является создание программ, предназначенных для решения нетривиальных интеллектуальных задач. Приоритет решения таких задач принадлежит человеческому мозгу, и для реализации искусственного интеллекта необходимо иметь модели, формализмы, имитирующие естественный интеллект.

Хотя разработка таких моделей еще не есть создание искусственного интеллекта, а только подступ к нему, эти модели уже сейчас могут иметь реальное прикладное значение во многих областях и, в частности, в медицине.

Говорится об искусстве врачевания. Сюда входят диагноз, лечебная тактика в отношении больного, прогноз. Тысячелетия насчитывающая наука действительно является искусством. Но в какой мере ей следует оставаться им?

Именно потому, что врач ежедневно решает задачи нетривиальные, интеллектуальные, связанные с огромной ответственностью, медициной должен предельно использоваться допустимый формализм, предлагаемый точной наукой.

Вычислительная диагностика и вычислительное прогнозирование явились первым привнесением математики в медицину. Чтобы судить о том, что они конкретно дали (а их применение и в настоящие дни не является общераспространенным), охарактеризуем, например, диагностику без математики.

2. Диагностика без математики

Ниже цитируется отрывок из статьи Р.С.Ледли и Л.Б.Лестера "Объективные основания диагноза" /I/:

"Если спросить врача: "Как вы ставите диагноз?", то его объяснение этого процесса будет примерно таким: "Во-первых, я получаю данные при расспросе больного, при физическом обследовании и из лабораторных анализов. Во-вторых, я оцениваю относительную важность различных признаков и симптомов. Некоторые из этих данных могут иметь первостепенное значение, другие менее важны. В-третьих,чтобы произвести дифференциальный диагноз, я мысленно перечисляю все заболевания, которые по объективным признакам могли бы напоминать клиническую картину данного случая. Затем я исключаю одно заболевание за другим, пока не станет очевидным, что либо данный случай можно отнести к определенной категории болезней, либо это одна из нескольких возможных болезней, либо, наконец, что его природу нельзя точно определить".

Какой вывод можно сделать из этого описания постановки диагноза?

Врач учитывает целостную ситуацию, выделяя в ней существенное и соотнося это существенное со спецификой тех или других нозологических единиц.

Но описания последних вербальны, неоднозначны, неточны. Медицина не располагает строгими определениями изучаемых ею патологических процессов; определениями, которые давались бы на языке признаков и позволяли бы непосредственно сопоставлять наблюдаемую клиническую картину определенной нозологической форме. Врач должен знать, помнить, анализировать, и принимаемое решение всецело зависит от его знаний, памяти,

опыта, интуиции.

Таким образом, ставя диагноз, давая прогноз заболевания, врач учитывает целостную ситуацию, выделяя ее специфику, но выбор главного, существенного, определяющего субъективен. В целях объективизации необходима допустимая формализация.

Задачи диагноза, выбора метода лечения, прогноза заболевания - задачи распознавания образов, задачи принятия решения, и на службу медицине были поставлены вычислительные методы. Что они дают?

3. Что дают вычислительная диагностика и вычислительное прогнозирование

Если обратиться к многочисленным работам в области медицинской кибернетики, в которых дается систематизация применяемых в медицине методов распознавания образов, то можно выделить три основных подхода: геометрический, вероятностный, логический.

Для первых двух подходов - геометрического и вероятностного - характерно, что, позволяя принять решение (т.е. отнести конкретный случай к определенному классу), они лишены преимущества смысловой интерпретации принятого решения: что в клинической картине явилось определяющим, при постановке диагноза остается неявным. В лучшем случае возможно лишь перечислить некоторые признаки, обладающие высокими весовыми оценками (при использовании геометрического подхода) или высокими вероятностными оценками (при использовании вероятностного подхода), которым, очевидно, принадлежала превалирующая роль при дифференциации.

Таким образом, методы, отражающие геометрический и вероятностный подходы, дают модели в определенном смысле несовершенные: они не отображают содержательный анализ ситуации. Врач же оценивает целостную ситуацию, выделяя в ней существенное. Он выделяет те или другие симптомы, те или другие их сочетания, хотя его оценка индивидуальна и субъективна.

Следовательно, геометрический и вероятностный подходы не в состоянии дать медицине строгие, четкие определения.

Хотя определенные преимущества налицо. Весовые и вероятностные оценки симптомам врач дает полуинтуитивно, неточно. За счет строгости расчетов, обеспечиваемых вычислительной процедурой, точность результатов повышается: весовые и вероятностные оценки объективизируются.

Логические методы, в отличие от геометрических и вероятностных, обладают преимуществом содержательной интерпретации.

Среди них необходимо отметить прежде всего предложенный Р.С.Ледли и Л.Б.Ластедом метод логического базиса /I,2/. Но его практическое использование невозможно при большом числе признаков из-за роста просматриваемого количества симптомокомплексов.

Помимо метода логического базиса, к логическому подходу относятся разнообразные методы поиска конъюнкций симптомов. Но предлагаемые модификации алгоритмов, осуществляющих выбор конъюнкций, связаны с принципиальным затруднением - полным перебором.

Таким образом, что дает медицине вычислительная диагностика?

I. Возможность постановки диагноза, но без содержательной интерпретации результата.

2. Возможность объективной весовой и вероятностной оценки симптомов.

И чего вычислительная диагностика пока не дала медицине?

Формализации содержательного анализа клинической картины.

Существует ли возможность ее реализовать?

Да. С появлением одного из направлений в области проблемы "Искусственный интеллект" - моделирования процесса формирования понятий.

4. Понятия

Согласно определению, "понятие есть мысль, в которой отражаются отличительные, специфические свойства предметов действительности и отношения между ними" /3/.

Мышление понятийно. Человеческий мозг формирует понятия и использует их. Анализ ситуации понятиен.

Естественно признать понятийный, или концептуальный, характер мышления врача. Врач имеет понятия о различных патологических процессах. Ставя диагноз, давая прогноз, он активно оперирует ими - осуществляет соотнесение.

Понятия несут отпечаток субъективности. Но здесь возможна аналогия.

Врач имеет определенную субъективную оценку значимости симптомов в отношении той или другой нозологической формы. Если статистические алгоритмы осуществляют формализацию выработки весовых оценок признаков и при этом достигается предельная объективизация, то не существует ли способа формализовать и процедуру выработки понятий?

5. Вычислимые понятия. Метод Э.Б.Ханта

Первые работы по моделированию процесса формирования понятий принадлежат Э.Б.Ханту и его сотрудникам /4/.

Принципиальным моментом в предлагаемом ими подходе является использование системы "признак-значение", что дает возможность описывать статус объекта множеством отмечаемых у него значений признаков (пример такой системы, относящийся к области медицины, приведен в таблице I).

Согласно определению Э.Б.Ханта, понятие - это правило, применение которого к описанию объекта позволяет установить, отвечает ли последний денотату рассматриваемого наименования.

В работе /4/ описывается несколько систем формирования понятий (CLS-concept learning system), различающихся организацией памяти и процедурой выбора. В основу этих программ положен следующий алгоритм выработки понятия.

Предполагается, что в исходной выборке содержатся как положительные (соответствующие денотату рассматриваемого наименования), так и отрицательные (не относящиеся к денотату рассматриваемого наименования) события (объекты).

I. Отыскивается параметр (значение признака), содержащийся в описаниях всех положительных событий и не содержащийся ни в одном описании отрицательного события. Если такой параметр найден, то он становится критерием для узла, левая концевая точка которого соответствует положительным событиям, а правая концевая точка - отрицательным событиям (рис.Iа).В случае неудачи переходят к следующему этапу.

2. Отыскивается параметр, содержащийся в описаниях всех отрицательных событий и не содержащийся ни в одном описании

Таблица I.

Система "признак-значение" (фрагмент)

S_{47} Изменение дыхания	S_{48} Кожа	S_{72} Хрипы в легких
I. Нет	обычной окраски	нет
2. Одышка	цианоз слабо выражен	есть сухие или влажные
3. Удушье	цианоз резко выражен	есть сухие и влажные

S_{80} Частота пульса	S_{89} Симптом Пастернацкого	S_{100} Холестерин сыворотки крови
I. Реже 40 ударов в мин.	отрицательный	Менее I60 мг%
2. 4I-50 " "	положительный с одной стороны	I60-I80 "
3. 5I-60 " "	положительный с двух сторон	I8I-220 "
4. 6I-80 "		22I-240 "
5. 8I-90 "		24I-260 "
6. 9I-I00 "		26I-300 "
7. I0I-I20 "		более 300"
8. более I20"		

положительного события. Если такой параметр найден, то он становится критерием для узла, левая концевая точка которого соответствует отрицательным событиям, а правая концевая точка - положительным событиям (рис.Iб).В случае неудачи переходят к следующему этапу.

3. Подсчитываются частоты появления параметров в описаниях положительных событий. Параметр, которому соответствует наибольшая частота, выбирается в качестве критерия для узла.

4. На основе полученного критерия выборка разбивается на две подвыборки: содержащую объекты с выбранным параметром и содержащую объекты без выбранного параметра (рис.Iв). Для каждой из этих подвыборок ставится задача формирования понятия.

5. Решается задача в левом нижнем узле (на подвыборке объектов, содержащих выбранный параметр).

6. Решается задача в правом нижнем узле (на подвыборке объектов, не содержащих выбранный параметр).

Таким образом, алгоритм отображает рекурсивную процедуру.

Он носит эвристический характер и базируется на допущении, что объекты, определенные как положительные события, более сходны между собой, чем объекты, определенные как отрицательные события. Это эвристическое допущение может оказаться непредвиденным для определенных задач, в связи с чем отдельные варианты систем формирования понятий учитывают возможность использования не абсолютных, а относительных частот параметров (так как параметр, чаще всего встречающийся в описаниях положительных событий, может вместе с тем чаще всего встречаться и в описаниях отрицательных событий) и возможность переопределения положительных и отрицательных событий.

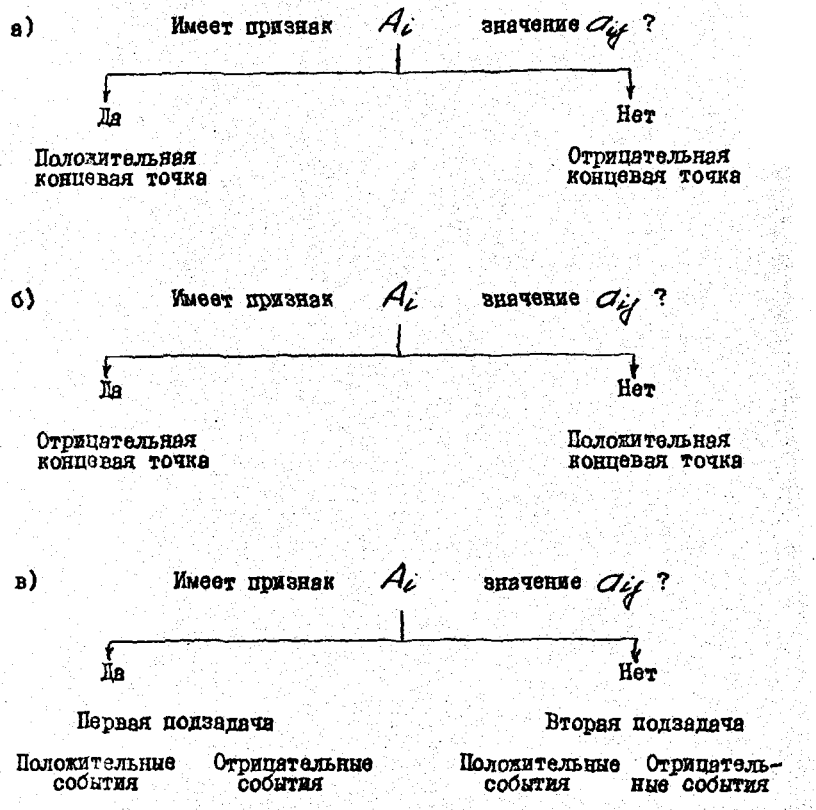


Рис.I. Построение дерева понятия с помощью программы CLS.

Эксперименты, проведенные с программами CLS, показали эффективность развиваемого подхода. Не касаясь вопросов анализа, оценки и сопоставления отдельных программ CLS, отметим ряд моментов, с нашей точки зрения, оправдывающих или затрудняющих применение предложенного Э.Б.Хантом подхода к задаче описания нормальных и патологических состояний и процессов в медицине.

Сначала остановимся на позитивных моментах.

I. Система "признак-значение" является естественной для описания состояний и процессов, изучаемых медициной.

2. Представление понятия набором сочетаний существенных значений существенных признаков (совокупность концевых узлов дерева решений) придает формульную строгость определению исследуемого состояния.

Отмеченные моменты в силу своей очевидности не нуждаются в пояснении.

Негативные моменты следующие.

I. *Выработанная форма понятия носит случайный характер.* Определяется это тем, что когда на роль критерия подходят несколько параметров, случайным образом выбирается один. Это удобно в целях упрощения вычислительной процедуры и окончательной формы понятия, но при этом утрачивается специфика описываемого класса объектов, создаваемая неучтенными параметрами.

Допустим, что для заболевания D характерно одновременное наличие симптомов S_i и S_j. Однако, если события $\overline{D}$ представлены так, что в их описаниях отсутствуют параметры S_i и S_j, то понятие заболевания D, согласно программе CLS, будет определяться либо симптомом S_i, либо симптомом S_j, но не обоими одновременно. Этим обеспе-

чивается достаточность при классификации, но при этом утрачивается полнота в описании специфики патологического процесса.

2. Предопределен уровень точности описания. Статус объекта задается значениями учитываемых признаков. Выработанное понятие задается сочетаниями существенных значений существенных признаков. Но может выясниться, что в некоторых случаях подобная детализация (задание понятия на уровне конкретных значений признаков) является излишней и достаточно оперировать с подмножествами значений признаков, не различая значений внутри подмножеств. Например, может оказаться существенным сам факт отклонения от нормы некоторого количественного показателя безотносительно к направлению (в сторону понижения или повышения) и выраженности этого отклонения.

3. Необходимость примеров отрицательных событий при формировании понятия. Обязательное наличие примеров отрицательных событий (без чего программы CLS не могут работать) создает возможность быстрой выработки эффективного классификационного правила. Но в то же время необходимость использования негативных параметров при формировании некоторого позитивного понятия влечет за собой практические затруднения, что оказывает существенное влияние на получаемые результаты.

Действительно, для того, чтобы обеспечить эффективность понятия, вырабатываемого с помощью программы CLS, необходимо иметь богатый набор позитивных и негативных примеров. Если речь идет о выработке понятия некоторого патологического состояния, то для того, чтобы обеспечить качество и универсальность классификационного правила, необходимо с достаточной полнотой представить выборку отрицательных событий, включив

в нее реализации состояния нормы и реализации состояний всевозможных патологий. Несомненно, это вызывает значительные практические затруднения, которые естественно преодолеть, сузив круг патологий, сопоставляемых с изучаемой. Но при этом неправомерно ограничивается множество отрицательных событий. В результате выработанное понятие, будучи эффективным при решении первоначально поставленной задачи (дифференциация заболевания D с заболеваниями $D_1, D_2, \ldots, D_K$; выборка отрицательных событий состоит из объектов, относящихся к классам $D_1, D_2, \ldots, D_K$), может оказаться неудовлетворительным при решении расширенной задачи (дополнительная дифференциация заболевания D с заболеванием D_{K+1}). Всякий раз, встречаясь с затруднениями при сопоставлении нозологических единиц, формировать новые понятия вряд ли представляется экономным и целесообразным.

Таким образом, можно видеть, что случайный характер формы понятия при использовании программ CLS предопределяется не только вышеотмеченной особенностью процедуры (случайный выбор одного параметра из нескольких альтернативных), но и структурой выборки из класса негативных событий.

Вместе с тем естественно требовать, чтобы понятия, используемые в медицине, носили универсальный характер, а не менялись в зависимости от задачи сравнения. В связи с этим представляется необходимым устранить: I) момент случайного выбора в процедуре формирования понятия; 2) априорные ограничения, накладываемые на точность описания, создаваемого понятием; 3) влияние неполноты представления класса отрицательных событий.

Что касается последнего пункта, то очевидно, что описания объектов, относящихся к денотату позитивного наименова-

ния, должны содержать информацию, объективно отражающую их общность, заключающуюся в принадлежности к одному и тому же классу (при условии использования достаточной признаковой системы). Поэтому представляется нецелесообразным (быть может, в ущерб простоте формы) решать задачу формирования понятий в области медицины, опираясь только на выборку объектов, относящихся к исследуемому классу, поскольку задать удовлетворительную выборку отрицательных событий не представляется возможным.

Отчасти вышеперечисленные требования могут быть удовлетворены внесением некоторых изменений в описание системы формирования понятий. Например, момент случайного выбора на этапах формирования конъюнктивного понятия может быть устранен, если фиксировать одновременно всю группу равнозначных параметров.

Но в целом пути устранения нежелательных, с нашей точки зрения, моментов не являются очевидными. и программы CLS не обеспечивают однозначности и универсальности понятий.

Метод аналитических эвристик

Исследования в области моделирования процесса формирования понятий, проводившиеся с 1970 г. в Институте кибернетики АН ГССР под руководством академика АН ГССР В.В.Чавчанидзе, позволили разработать теорию искусственного концептуального интеллекта и предложить аппарат концептуального формализма /5-9/.

Рассмотрим возможности описания нормальных и патологических состояний и процессов в медицине на основе метода аналитических эвристик, предложенного В.В.Чавчанидзе /5/.

При использовании этого метода объекты выборки также описываются в системе "признак-значение". Допустим, что значения признаков закодированы числами $1, 2, \ldots, 2^M$.

Метод аналитических эвристик базируется на введенном его автором понятии ал-множеств (алгебраизированных множеств). Для ал-множества характерно, что элементы могут входить в него не только в состоянии "присутствия" ($\theta \in A$), но и в состоянии "отсутствия" ($\bar{\theta} \in A$).

При использовании M признаков рассматриваются следующие ал-множества:

$$A_1 = \{1, 2, \ldots, 2^{N-1}, \overline{2^{N-1}+1}, \ldots, \overline{2^N-1}, \overline{2^N}\}$$
$$\bar{A}_1 = \{\bar{1}, \bar{2}, \ldots, \overline{2^{N-1}}, 2^{N-1}+1, \ldots, 2^N-1, 2^N\}$$
$$\ldots$$
$$A_N = \{1, \bar{2}, \ldots, 2^N-1, \overline{2^N}\}$$
$$\bar{A}_N = \{\bar{1}, 2, \ldots, \overline{2^N-1}, 2^N\}.$$

Множеству $A_i\ (i = 1, \ldots, M)$ соответствует период 2^{N-i}. На базе этих ал-множеств строятся $2M$ ортонормированных базисных функций состояния признаков:

$$\varphi_1 = (1\,2 \ldots 2^{N-1}\,\overline{2^{N-1}+1} \ldots \overline{2^N})^T$$
$$\bar{\varphi}_1 = (\bar{1}\,\bar{2} \ldots \overline{2^{N-1}}\,2^{N-1}+1 \ldots 2^N)^T.$$
$$\varphi_2 = (1\,2 \ldots 2^{N-2}\,\overline{2^{N-2}+1} \ldots \overline{2^N})^T$$
$$\bar{\varphi}_2 = (\bar{1}\,\bar{2} \ldots \overline{2^{N-2}}\,2^{N-2}+1 \ldots 2^N)^T$$
$$\ldots$$
$$\varphi_N = (1\,\bar{2} \ldots 2^N-1\,\overline{2^N})^T$$
$$\bar{\varphi}_N = (\bar{1}\,2 \ldots \overline{2^N-1}\,2^N)^T$$

Пусть признак S_m имеет значение s_{mn}. Код этого значения может попасть либо в ал-множество A_m, либо в ал-множество $\bar{A}_m$. В первом случае значение признака S_m описывается матрицей φ_m, во втором случае - матрицей $\bar{\varphi}_m$. Это дает возможность всякий объект представить конъюнкцией ("траекторией") типа $\check{\varphi}_1 \cdots \check{\varphi}_N$, где $\check{\varphi}_m$ есть φ_m или $\bar{\varphi}_m$, в зависимости от значения признака $S_m (m = 1, \ldots, M)$

Процедура формирования понятия состоит в следующем.

I. Объекты обучающей выборки, заданные в системе "признак - значение", при помощи базисных функций описываются "траекториями" типа $\check{\varphi}_1 \dots \check{\varphi}_M$.

2. На основе дизъюнкции "траекторий", относящихся к классу положительных реализаций, строится дизъюнктивная совершенная нормальная форма (ДСНФ) позитивного понятия.

3. На основе дизъюнкции "траекторий", относящихся к классу отрицательных реализаций, строится ДСНФ негативного понятия.

4. Минимизируется ДСНФ позитивного понятия.

5. Минимизируется ДСНФ негативного понятия.

Метод аналитических эвристик, как и метод Э.Б.Ханта, использует естественное для медицины описание реализаций, на базе которых формируются понятия, -описание в системе "признак-значение". Логическая форма вырабатываемых понятий обеспечивает требование формульного определения изучаемых нормальных и патологических состояний. Таким образом, метод аналитических эвристик обладает теми же необходимыми для использования в области медицины достоинствами, что и вышеописанный метод формирования понятий Э.Б.Ханта. Но в то же время он свободен от ряда ранее отмеченных ограничений, свойственных программам CLS . А именно:

I. Процедура исключает случайное преимущественное выделение одного из нескольких равнозначных параметров.

2. Позитивное понятие вырабатывается независимо от негативного, вследствие чего неполнота представления класса отрицательных реализаций не влияет на логическую форму позитивного понятия.

Таким образом, метод аналитических эвристик удовлетворяет тем требованиям, которые налагаются на процедуру формирования понятий спецификой области применения. Помимо этого в идее метода заключена возможность разноуровневого представления концептов, что создает большие преимущества в условиях, когда заранее неизвестна необходимая точность описания патологического процесса. Эта возможность реализуется аналитическим фильтрационным методом формирования понятий /I0-I2/.

Аналитический фильтрационный метод формирования понятий

Идея аналитического фильтрационного метода формирования понятий заключается в применении последовательности фильтров по отношению к каждому из рассматриваемых признаков. В результате фильтрации осуществляется последовательное сужение множеств допустимых значений признаков.

Пусть в рамках фиксированной системы признаков $S_1, \dots, S_M$ требуется выработать понятие, соответствующее некоторому классу объектов.

Каждому признаку $S_m (m=1,\dots,M)$ сопоставляется множество допустимых для него значений $\{S_{m,1}, \dots, S_{m,N}\}$. Некоторые из этих значений могут быть "пустыми". Число значений $N=2^K$ при выборе достаточно большого K и возможности использования "пустых" значений может быть задано одинаковым для всех признаков.

Применяя идею бинаризованной фильтрации /5/, можно использовать различные уровни описания объекта.

Так, в первом приближении состояние признака S_m может быть охарактеризовано одной из двух матриц: $\varphi^{(I)}_{m,1} = (S_{m,1} \dots S_{m,n})^T$ или $\bar{\varphi}^{(I)}_{m,1} = (S_{m,n+1} \dots S_{m,N})^T$ (в зависимости от того, какому именно множеству - $\{S_{m,1}, \dots, S_{m,n}\}$ или

$\{S_{m,n+1},\dots,S_{m,N}\}$ - принадлежит реально наблюдаемое значение $S_{m,j}$ признака S_m).

Состояние $\varphi^{(I)}_{m,1}$ может рассматриваться как результат "произведения" сопоставленного признаку S_m исходного, неуточненного описания $\varphi_m=(S_{m,1}\dots S_{m,N})^T$ и "фильтра" $\varphi^{(I)}=(S_{m,1}\dots S_{m,n}\bar{S}_{m,n+1}\dots\bar{S}_{m,N})^T$ с периодом 2^{K-1}.

Состояние $\bar{\varphi}^{(I)}_{m,1}$ может рассматриваться как результат "произведения" исходного описания φ_m и "фильтра" $\bar{\varphi}^{(I)}=(\bar{S}_{m,1}\dots\bar{S}_{m,n}S_{m,n+1}\dots S_{m,N})^T$.

Используя совокупность признаков, которыми описывается объект, последнему можно поставить в соответствие "траекторию" $\check{\varphi}^{(I)}_{1,1}\dots\check{\varphi}^{(I)}_{M,1}$ (где $\check{\varphi}^{(I)}_{m,1}$ ($m=1,\dots,M$) есть $\varphi^{(I)}_{m,1}$ или $\bar{\varphi}^{(I)}_{m,1}$), представляющую собой конъюнкцию функций состояния признаков $S_1,\dots,S_M$.

Во втором приближении состояние признака S_m может быть охарактеризовано одной из четырех матриц: $\varphi^{(II)}_{m,1}=(S_{m,1}\dots S_{m,n_1})^T$ или $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,1}=(S_{m,n_1+1}\dots S_{m,n})^T$ и $\varphi^{(II)}_{m,2}=(S_{m,n+1}\dots S_{m,n_2})^T$ или $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,2}=(S_{m,n_2+1}\dots S_{m,N})^T$.

Состояния $\varphi^{(II)}_{m,1}$ и $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,1}$ являются уточнениями состояния $\varphi^{(I)}_{m,1}$, состояния $\varphi^{(II)}_{m,2}$ и $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,2}$ - уточнениями состояния $\bar{\varphi}^{(I)}_{m,1}$. Они могут быть получены при использовании "фильтра" с периодом 2^{K-2}.

Учитывая состояния всех признаков, объекту можно поставить в соответствие "траекторию" $\check{\varphi}^{(II)}_{1,i_1}\dots\check{\varphi}^{(II)}_{M,i_M}$ ($i_m=1,2$; $m=1,\dots,M$; $\check{\varphi}^{(II)}_{m,1}$ есть $\varphi^{(II)}_{m,1}$ или $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,1}$, $\check{\varphi}^{(II)}_{m,2}$ есть $\varphi^{(II)}_{m,2}$ или $\bar{\varphi}^{(II)}_{m,2}$), представляющую собой конъюнкцию функций состояния признаков $S_1,\dots,S_M$.

Аналогичным образом, используя "фильтры" с периодом $2^{K-3}, 2^{K-4}$ и т.д., можно получить "траектории" объекта, соответствующие III, IV и последующим уровням описания.

Реализуя принцип фильтрации, оказывается возможным осуществить следующую процедуру формирования понятия (фильтрационный алгоритм):

I. Объекты обучающей выборки, заданные в фиксированной системе "признак-значение", описываются "траекториями" типа $\check{\varphi}^{(I)}_{1,1}\dots\check{\varphi}^{(I)}_{M,1}$.

2. Функции состояния признаков рассматриваются как логические переменные: $\check{\varphi}^{(j)}_{m,i}$ может принимать два значения - $\varphi^{(j)}_{m,i}$ или $\bar{\varphi}^{(j)}_{m,i}$ (m - номер признака, i - номер функции, j - номер уровня). На основе "траекторий" типа $\check{\varphi}^{(I)}_{1,1}\dots\check{\varphi}^{(I)}_{M,1}$ строится ДСНФ, соответствующая I уровню понятия.

3. Полученная ДСНФ минимизируется. Результат минимизации рассматривается как I уровень понятия.

Дальнейшие этапы касаются каждой из импликант ($j-1$)-го уровня ($j=2,3,\dots,K$). Происходит разветвление дерева понятия.

4. Объекты обучающей выборки, описываемые рассматриваемой импликантой ($j-1$)-го уровня, представляются "траекториями" типа $\check{\varphi}^{(j)}_{1,i_1}\dots\check{\varphi}^{(j)}_{M,i_M}$ ($i_m=1,2,\dots,2^{j-1}$; $m=1,\dots,M$).

5. На основе "траекторий" типа $\check{\varphi}^{(j)}_{1,i_1}\dots\check{\varphi}^{(j)}_{M,i_M}$ строится ДСНФ, соответствующая j -му уровню понятия.

6. Полученная ДСНФ минимизируется, результат минимизации рассматривается как j -й уровень понятия.

Описанной процедурой формирования понятия обеспечивается выявление характерных для рассматриваемого класса объектов сочетаний состояний признаков. Каждая из импликант дерева понятия (независимо от уровня) допускает следующее истолкование: зафиксированное ею сочетание состояний признаков является характерным для рассматриваемого класса объектов.

Применение аналитического фильтрационного метода формирования понятий в медицине оправдывается возможностью уловить специфику клинической картины именно в сочетаниях определенных состояний признаков.

Концептуальная нозография

Как было отмечено, перед медициной стоит задача выработки строгих определений разнообразных состояний нормы и патологии. Аналитический фильтрационный метод формирования понятий обеспечивает получение концептов (вычислимых понятий); последние могут служить формульно-логическими определениями соответствующих нормальных или патологических процессов в организме. Тем самым открывается возможность разработки концептуальной нозографии.

На рис.2 приведено формульное определение острого аппендицита - одной из нозологических единиц, охватываемых дифференциально-диагностической системой "Острый живот", разрабатываемой на базе концептуального подхода.

Это - концепт, выработанный на основе описания клинической картины, предполагающего фиксацию 40 признаков. Выборка содержала 70 верифицированных случаев, и вследствие ее относительной малочисленности нельзя утверждать стабильность приводимого определения. Однако оно вполне может служить иллюстрацией, демонстрирующей существенные сочетания "состояний" признаков. Например, одно из них: тошнота, сухой язык, боль в правой подвздошной области, болезненность при пальпации в правой паховой подвздошной области, симптом Ровзинга, симптом Шеткина-Блюмберга, симптом Менделя, симптом Бартомье (выделено на рис. 2).

$$[\varphi_2(2)\varphi_{20}(4) \vee \varphi_5(1\vee 2)\varphi_{18}(2) \vee \varphi_2(2)\varphi_{18}(1)] \cdot$$
$$\cdot \varphi_9(5)\varphi_{21}(4)\varphi_{37}\varphi_{40} \cdot$$
$$\cdot (\varphi_{20}\varphi_{28} \vee \varphi_{26}\varphi_{33} \vee \varphi_{28}\varphi_{33})$$

$\varphi_2(2)$ - постоянный характер боли
$\varphi_{20}(4)$ - напряжение брюшного пресса в правой паховo-подвздошной области
$\varphi_5(1\vee 2)$ - тошнота или рвота
$\varphi_{18}(2)$ - сухой язык
$\varphi_{18}(1)$ - влажный язык
$\varphi_9(5)$ - боль в правой подвздошной области
$\varphi_{10}(1)$ - нормальный живот
$\varphi_{21}(4)$ - болезненность при пальпации в правой паховo-подвздошной области
φ_{37} - симптом Ровзинга
φ_{40} - симптом Шеткина-Блюмберга
φ_{26} - симптом Воскресенского
φ_{28} - симптом Менделя
φ_{33} - симптом Бартомье

Рис.2. Концепт острого аппендицита.

Концептуальная диагностика и концептуальное прогнозирование

Концепты, вырабатываемые на основе аналитического фильтрационного метода формирования понятий, могут быть применены в прикладном аспекте для дифференциации заболеваний и прогноза их течения.

В целях дифференциальной диагностики понятия практически используются следующим образом.

Пусть дифференцируются нозологические формы

$\mathcal{D}_1, \mathcal{D}_2, \ldots, \mathcal{D}_n$.

I. Рассматриваемый объект представляется описанием I уровня, и на это описание последовательно налагаются импликанты I уровня, соответствующие форме $\mathcal{D}_1$ (наложение прекращается как только найдена импликанта, описывающая заданный объект; эта импликанта отмечается), импликанты I уровня, соответствующие форме $\mathcal{D}_2$ (наложение прекращается как только найдена импликанта, описывающая заданный объект; эта импликанта отмечается) и т.д. В результате выясняется, к каким классам может относиться рассматриваемый объект. Ответ либо однозначен (объект описывается единственной импликантой), либо альтернативен (объект описывается несколькими импликантами). В первом случае распознавание завершено, и в использовании последующих уровней концептов нет необходимости. Во втором случае процедура продолжается.

2. Рассматриваемый объект представляется описанием II уровня, и на это описание налагаются импликанты II уровня, уточняющие отмеченные импликанты I уровня. В результате множество альтернативных возможностей еще более ограничивается. Если оно представляется единственной формой, распознавание завершено;

если оно представляется все еще несколькими формами, процедура продолжается.

Таким образом, процедура распознавания позволяет эмпирически определить и использовать необходимый при решении конкретной задачи уровень описания. Практически уже I уровни концептов часто позволяют отдифференцировать значительную долю объектов.

В аспектах прогнозирования представляется возможным использовать либо концепты состояний, сопоставляемые с тем или иным вариантом исхода; либо последовательности концептов состояний, что позволяет отобразить слежение за динамикой процесса.

Примеры и перспективы использования концептуального подхода в медицине

Вырабатываемые концепты помимо того, что представляют интерес в абстрактно-теоретическом плане (выявляя специфику клинических картин, соответствующих тем или иным патологическим процессам), могут быть непосредственно применены для решения задач дифференциации или прогнозирования заболеваний. В этом направлении теоретическим отделом, возглавляемым академиком В.В.Чавчанидзе, и отделом медицинской кибернетики, возглавляемым профессором М.Г.Ахалая, Института кибернетики АН ГССР были выполнены следующие работы.

Использование аналитического фильтрационного метода формирования понятий для концептуального описания белкового состава крови при инфаркте миокарда позволило выявить три типа картин белкового состава крови, отвечающих крупноочаговому инфаркту миокарда, и четыре типа картин белкового состава крови, отвечающих мелкоочаговому инфаркту миокарда /13/.

Концепты, описывающие эти картины, определяют качественную и количественную специфику изменений в белковом составе крови, соответствующую различным размерам очага некроза. Это позволяет использовать данные исследований белкового состава крови в дополнение к данным клинической и электрокардиографической картин при дифференциации крупноочагового и мелкоочагового инфаркта миокарда.

Применение аналитического фильтрационного метода формирования понятий для анализа картины кислотно-основного баланса крови при инфаркте миокарда позволило обнаружить некоторые различия при нарушениях кислотно-основного баланса крови в случаях с благополучным и летальным исходом / I4 /. Эти различия получили качественную и количественную оценку. Последнее свидетельствует о том, что данные кислотно-основного баланса крови могут учитываться при решении задачи прогноза инфаркта миокарда (в сочетании с данными клинической и электрокардиографической картин).

Применение аналитического фильтрационного метода формирования понятий для описания состояния очага повреждения костной ткани позволило на основе исследуемого комплекса биофизико-химических параметров /I5/ устанавливать характер воспалительного процесса, сопровождающего репаративный остеогенез уже в первые дни после перелома /I6,I7/. Раннее же выявление инфекционного характера воспаления создает возможность направленного целесообразного вмешательства в лечение открытых переломов.

Практическая проверка выработанных концептов (для всех перечисленных задач) подтвердила их работоспособность. Это свидетельствует о том, что допущение о существенности сочетаний состояний определенных признаков, описывающих патологию,

является справедливым. Именно это допущение и лежит в обосновании использования концептуального подхода в области медицины.

В настоящее время на базе концептуального подхода в отделе медицинской кибернетики Института кибернетики АН ГССР выполняется работа по созданию диагностической системы, предназначенной для дифференциации острых заболеваний брюшной полости.

В аспектах приложения концептуального подхода представляется интересным не только создавать концепты-определения тех или иных нормальных и патологических состояний, но и вырабатывать понятия глобального характера, имеющие отношение к вопросам принятия решений в области медицины, такие, как концепты медицинской тактики и концепты медицинской стратегии. Целесообразность этого предопределяется сложностью анализа и оценки целостной ситуации, которую учитывает врач, назначая лечение и проводя его. Концептуальный подход может оказаться полезным для выявления существенных особенностей подобных ситуаций.

Таким образом, аппарат концептуального формализма создает возможность:

I) формульно-логически определять нормальные и патологические состояния и процессы, что представляет интерес в аспектах теоретического развития медицины и практической реализации системного подхода в биологических исследованиях;

2) строить процедуру диагноза или прогноза на проверке наличия определенных сочетаний состояний признаков в наблюдаемой клинической картине;

3) совершенствовать процесс обучения врача, используя

концепти изучаемых патологических процессов для эффективного тренинга.

Перспектива подобного использования теории искусственного концептуального интеллекта - создание медицинского клинического робота с "интеллектом", реализуемым набором программ по формированию и анализу концептов.

Литература

1. Р.С.Ледли, Л.Б.Ластед. Объективные основания диагноза. Кибернетический сборник, вып.2, ИЛ, М., 1961.
2. Р.С.Ледли, Л.Б.Ластед. Медицинская диагностика и современные методы выбора решения. В сб. Математические проблемы в биологии. "Мир", М., 1966.
3. Д.П.Горский. Вопросы абстракции и образования понятий. АН СССР, М., 1961.
4. Э.Хант, Дж.Марин, Ф.Стоун. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. "Мир", М., 1970.
5. В.В.Чавчанидзе. Аналитическое решение задачи формирования понятий и распознавания образов. Сообщения АН ГССР, т.61, № 1, 1971.
6. В.В.Чавчанидзе. К построению ОТС как общей теории концептуальных систем. Сообщения АН ГССР, т.63, № 1, 1971.
7. В.В.Чавчанидзе. К началам теории принятия концептуальных решений в системе искусственного интеллекта. Сообщения АН ГССР, т.70, № 2, 1973.
8. В.В.Чавчанидзе. К вероятностно-концептуальным принципам организации памяти. ДАН, т.219, № 4, 1974.

9. В.В.Чавчанидзе. Абстрактно-теоретическое решение общей задачи распознавания образов с точки зрения теории концептуального интеллекта. Сообщения АН ГССР, т.76, № 2, 1974.
10. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева. Аналитический фильтрационный метод формирования понятий. Сообщения АН ГССР, т.65, № 3, 1972.
11. В.В.Чавчанидзе, М.Г.Ахалая, А.В.Корнеева. О применении концептуальных принципов в медицинской диагностике. В сб.: Вопросы биологической и медицинской техники."Мецниереба", Тбилиси, 1973.
12. А.В.Корнеева. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (Концептуальный подход). Тбилиси, 3 - 8 сентября,1975 г., 161.
13. М.Г.Ахалая, К.В.Иосава, А.В.Корнеева. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем". (Медицина, наука, техника) г. Батуми, 24-28 апреля, 1973 г. Тбилиси, 1973, 29.
14. К.В.Иосава, М.Г.Ахалая, А.В.Корнеева, К.А.Закарая. Прогноз ближайших исходов инфаркта миокарда по данным кислотно-основного баланса. Кардиология, 1974, № 3.
15. М.Г.Ахалая, К.А.Закарая, М.С.Какиашвили и др. Динамическая регистрация электрохимических изменений костной ткани в процессе репаративной регенерации. Труды П Всесоюзного съезда травматологов и ортопедов. Москва, 1970.
16. М.Г.Ахалая, К.А.Закарая, М.С.Какиашвили, А.В.Корнеева, Н.В.Пиотровская. Применение аналитического фильтрационного метода формирования понятий для определения харак-

тера воспалительного процесса, сопровождающего репаративный остеогенез. Сообщения АН ГССР, т.71, № 3, 1973.

17. М.Г.Ахалая, А.В.Корнеева, К.А.Закарая, Н.В.Пиотровская, М.С.Какиашвили. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход). Тбилиси, 3 - 8 сентября 1975 г., 232.

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ

Такадзе Т.Ш.

Проблема разработки систем, способных осуществлять управление объектами, "не подходящими" по своей природе для классических методов теории управления, поставила задачу исследования принципов реализации целенаправленного поведения и эвристических методов поиска решения. Известные эвристические методы поиска решения /1,2/, за исключением работ по разработке GPS, в основном развиваемые как методы сокращения перебора вариантов решений, а также работы по автоматическому доказательству теорем /1,3/ не решили вопроса моделирования полного представления поведения.

Ниже рассматриваются вопросы моделирования формирования программой концептуального поведения при решении различных задач, головоломок, игр. Концептуальное поведение постулируется как установленная последовательность определенных шагов преобразований над объектом задачи, выраженная в аналитической понятийной форме, именуемая концептом /4,5/ и развертываемая на основе имеющейся цели, возможностей решающей системы, условия задачи и состояния внешней среды, ситуации. При этом предполагается наличие следующих основных этапов поведения:

1) формирование концепта цели;

2) восприятие ситуации и ее классифицирование;

3) генерирование и достижение траектории подцели;

4) генерирование и исполнение траектории действий.

Цель может быть задана объектно (диспозиционное задание) и безобъектно (описательное, понятийное задание). В случае объектного задания диспозиция непосредственно переносится из "поля

игры" во внутреннюю модель внешней среды решающей программы. Далее проводится формирование концептов цели ($C_ц$), что позволяет получить обобщенные компактные описания цели. Для этого используется признаковая система, фиксирующая изменения отношений в диспозиции по направлениям действий, разрешенных условиями задачи. Например, в случае игры "I5" /6/ был получен концепт цели $C_ц$, обладающий избыточностью, которому удовлетворяли конечные положения всех фишек, $C_ц = \psi_1 \bar{\psi}_2 \psi_3 \bar{\psi}_4$,

где набор ψ есть запись свойств диспозиции фишек ("выше присутствует младшая фишка", "ниже присутствует младшая фишка" и т.п.). В случае невозможности получения компактной формы концепта высшего уровня программа останавливается на предыдущем достигнутом уровне.

При безобъектном понятийном задании цели из анализа условия задачи составляется набор признаков, описывающих цель, который и представляет собой траекторию концепта цели.

Множество траекторий ситуаций, совместных с определенной подцелью k и действием r , составляет концепт ситуации ($CSit$). В таком определении концепт ситуации может включать траектории ситуаций, прагматически попадающих в один класс.

Множество последовательностей траекторий подцелей при успешной реализации цели составляет, согласно /5/, концепт - структуру цели (CSt)$_ц$. Траектория $CSt_ц$ предопределяет конкретную подцель на данном шаге решения.

Множество траекторий действий, совмещенных с ситуациями одного класса и соответствующих конкретным траекториям $CSt_ц$, называется концепт-грамматикой действий $(CGr)_g$ и представляет собой набор "тактических приемов" поведения.

В сущности, это представляет собой решение задачи реализации детального осуществления какой-либо конкретной траектории.

В случае простых задач, условия которых допускают использование лишь минимального алфавита действий (например, в случае задачи Лукаса /6/), концепт-грамматика однозначна концепт-структуре цели.

Формирование каждого из перечисленных концептов ведется, в сущности, по единому методу, основы которого изложены в /4,5/. Но при этом необходимо учитывать взаимосвязанность и хронологическую последовательность формируемых при моделировании поведения концептов, что при рассмотрении поведения в реальных задачах носит довольно сложный, не совсем ясный характер, требующий специального исследования.

При наличии сформированных концептов действие программной модели может быть описано процедурами, приведенными ниже (рис.I).

Предпосылки правомерности подобной схемы поведения легко можно выделить в теории установочного поведения /7/. Эта довольно общая схема функционирования не включает в себя многих психологических компонентов поведения (хотя бы, например, потребностных аспектов). Предполагается, что схема применяется программой в условиях статичной внешней среды и при наличии сформированных концептов, т.е. программа считается полностью адаптированной к внешней среде.

Такая схема была использована в основе программы, решающей игру "I5" /6/. Программа действовала при сформированных заранее концептах и решала задачу при любых начальных и конечных диспозициях объекта (программа отрабатывалась с целью изучения особенностей построения модели концептуального поведения).

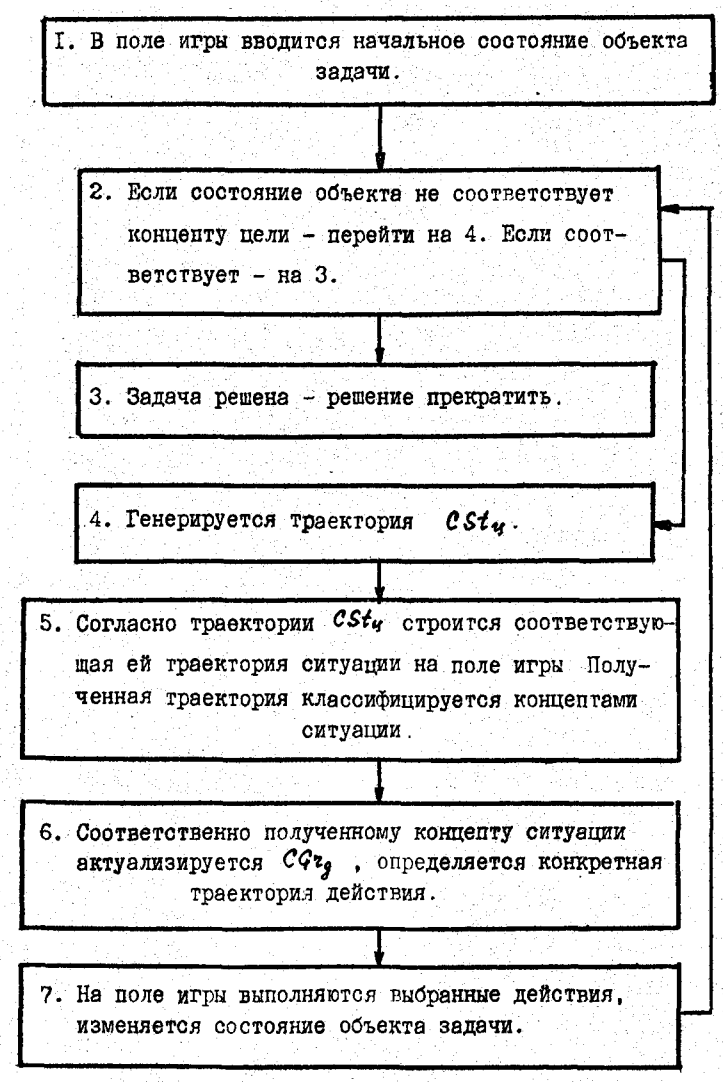


Рис. I

Для автономной работы с задачами, представленными в удобной для машины форме, схема модели поведения должна содержать процедуры вывода концептов и формирования решения. Программы, снабженные такими процедурами, будут способны успешно работать в условиях сложных, меняющихся сред.

Рассмотрим альтернативную процедуру формирования концепта решения /8/, при которой происходит пошаговое наращивание траектории решения. Излагаемая ниже процедура включает в себя постоянно присутствующий процесс формирования концептов успешного и безуспешного поведения, на основе которых осуществляется каждый последующий шаг поведения. В целом это представляет собой процедуру, накапливающую "собственный опыт" поведения в рамках решения определенной задачи (не будем касаться случаев использования знаний прошлого опыта), и в таком смысле приближается к управляющим системам с понятийными структурами /9/.

Структура объектов в головоломках и играх обычно представляется в виде условно-альтернативных составляющих. Например, белые и черные фигуры, пустые и заполненные сосуды, миссионеры и каннибалы, левый и правый берег и т.п. В реальных задачах (системах) подобное четкое деление иногда затруднительно, но тем не менее наблюдателю удается "обнаружить" подобные условно-альтернативные составляющие.

Пусть при формировании концепта (C) (здесь и далее имеются в виду концепты решения) на I-ом шаге получены условно-альтернативные траектории φ_{11} и φ_{21}, где φ есть обозначение импликант вида $\check{\psi}_1 \check{\psi}_2 \ldots \check{\psi}_m$, и допустим, что φ_{11} отнесена к позитивной форме концепта C_+ как ее условная (возможная) импликанта. Тогда φ_{21} считается условной импликантой формы C_-

$$C_+ = \cdots ; (\varphi_{11})$$
$$C_- = \cdots ; (\varphi_{21})$$

(Такая форма записи предусмотрена для условных и настоящих импликант). Последующие траектории проверяются на соответствие с имеющимися частными выражениями C_+ и C_-.

Если вновь поступившие на ℓ-ом шаге траектории $\varphi_{1\ell}$ и $\varphi_{2\ell}$ присутствуют в частичных выражениях C_+ и C_-, то последние остаются без изменений.

Если среди поступивших траекторий встречается лишь одна траектория, принадлежащая имеющимся частичным выражениям C_+ или C_-, то альтернативная ей траектория вносится условной импликантой в противоположную форму

$$C_+ = \cdots ; (\varphi_{11} \vee \varphi_{12}) \qquad C_- = \cdots ; (\varphi_{21} \vee \varphi_{22} \vee \varphi_{23}).$$

Если среди поступивших траекторий ни одна не принадлежит частичным выражениям C_+ и C_-, то производится отнесение их в C_+ и C_- или случайно, или на основе концепта второго уровня. При этом появляются вторичные условные импликанты

$$C_+ = \cdots ; (\varphi_{11} \vee \varphi_{12}); (\varphi_{14})$$
$$C_- = \cdots ; (\varphi_{21} \vee \varphi_{22} \vee \varphi_{23}); (\varphi_{24}).$$

Если появляются траектории, принадлежащие лишь C_-, то это означает невозможность дальнейшего формирования концепта с использованием имеющихся последних условных импликант. Формирование возобновляется с ℓ-го шага, на котором было произведено последнее неальтернативное отнесение траекторий. Между C_+ и C_- проводится замена импликант, введенных на данном шаге (напри-

мер, на I-ом шаге), которые теперь считаются настоящими импликантами

$$C_+ = \varphi_{21};$$
$$C_- = \varphi_{11}.$$

Далее все следует согласно изложенному выше.

Если подобная замена также оканчивается неудачей в игре, то, начиная с ℓ-го шага, следует альтернативное формирование нового концепта по имеющемуся состоянию объекта задачи, без учета предыдущих частичных выражений.

Альтернативная процедура применялась при решении ряда головоломок, приведенных в /I0-I2/. Подобное изложение процедуры на конкретном примере приводится в работе /6/.

Процедура позволяет ускорить процесс формирования концепта за счет "взаимонаращивания" дизъюнктивных наборов φ_+ и φ_- - выражений. При соответствии какой-либо вновь поступившей при ходе ℓ траектории T'_ℓ позитивному или негативному выражению формируемого концепта, альтернативная ей траектория T''_ℓ условно относится к противоположному выражению и наращивает его набор. Это дает возможность более полного использования каждого правильного или неправильного выбора, решения, хода для формирования концепта. То есть, процедура позволяет получить большее количество траекторий при одинаковом числе ходов, нежели без ее использования.

Альтернативная процедура в сочетании с постоянным анализом успеха и неудачи процесса решения, сопровождающимся формированием концептов высшего уровня и особой процедурой наращивания новых признаков, позволяет вести достаточно эффективное формирование решения в задачах рассмотренного типа. В качестве иллюстрации в конце приводится ход решения одной из задач. На формирование решения задачи потребовалось I0 шагов. Эта же задача решалась испытуемыми за 22-50 шагов (под шагом подразумевается

каждое изменение, совершаемое над объектом задачи, в том числе и разыгрываемые мысленно).

З а д а ч а

Имеется 6 шашек, расположенных в ряд

● ○ ● ○ ● ○ .

Надо переместить шашки так, чтобы слева были все белые, а вслед за ними все черные. При этом перемещать на свободное место нужно сразу две рядом лежащие шашки, не меняя порядка, в котором они лежат. Раздвигать или сдвигать шашки не разрешается. Задачу решить в 3 хода.

Ход решения

(подчеркнуты ходящие пары)

0. ● ○ ● ○ ● ○ – начальное состояние.

I. ○ ● ● ○ ● . . ○

2. ○ . . ○ ● ● ● ○

3. Тупик, возвратиться к позиции I.

I^{I}. ○ ● ● ○ ● . . ○

2^{I}. ● ○ ○ ● . . ● . . ○

3^{I}. Тупик, возвратиться к позиции 0.

0^{II}. ● ○ ● ○ ● ○

I^{II}. ○ ● ● . . ○ ● ○

2^{II}. ○ ● ● ● ○ ○

3^{II}. ○ ○ ○ ● ● ●

Задача решена.

начиная с позиции 0^{II} решение следует по сформированному за предыдущие шаги концепту.

Л и т е р а т у р а

I. Дж. Слэйгл. Искусственный интеллект. "Мир", М., I973.

2. Н.Нильсон. Искусственный интеллект. "Мир", М., I973.

3. Брус Андерсон, Патрик Дж.Хейз. Недостатки логики. Кибернетический сборник, вып.I3, "Мир", М., I976.

4. Чавчанидзе В.В. Сообщения АН ГССР, т.6I, № I, I97I.

5. Чавчанидзе В.В. Сообщения АН ГССР, т.66, № 2, I972.

6. Такадзе Т.Ш., Кавтарадзе Т.Г. В сб. "Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход)". Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Тбилиси, I975, I86.

7. Узнадзе Д.Н. Психологические исследования. "Наука", М., I966.

8. Такадзе Т.Ш. Альтернативная процедура формирования решения в играх одного лица на основе концептуального подхода. Материалы УШ Всесоюзного симпозиума по кибернетике. Тбилиси, I976. 359.

9. Чавчанидзе В.В. Поведение управляющих естественных и искусственных систем с изоморфными понятийными структурами и моделями. ВИНИТИ, Деп. № 3950-72.

I0. С.Коваль. Математическая смесь. Варшава, I972.

II. Гарднер. Математические новеллы. "Мир", М., I975.

I2. Кордемский Б.А. Математическая смекалка. "Наука", М., I965.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Галицкая О.И.

В практической деятельности человека задача прогнозирования занимает одно из главных мест. С необходимостью прогнозировать человек сталкивается почти постоянно. Поэтому предпринимались и предпринимаются до сих пор различного рода попытки моделировать процесс получения прогноза. С этой целью используют как традиционный классический математический аппарат, так и новые неформальные, эвристические методы. В первом случае довольно удачной попыткой следует признать применение метода матричного анализа временных рядов, предложенного В.В.Чавчанидзе /I - 4/. Этот подход был использован для прогнозирования поведения объекта, находящегося под воздействием некоторого фактора, в частности, при распознавании электроэнцефалограмм здоровых людей, подвергнутых воздействию различных внешних раздражителей при распознавании голосов по фонемам, для уточнения диагностики заболеваний ц.н.с, а также для решения задачи отнесения процесса испытания объекта к классу с допустимыми или недопустимыми отклонениями /5 - 7/.

Суть метода заключается в следующем.

Динамика изменения объекта, или поведение системы, описывается временной кривой $Y(t)$, где $t = \ell \Delta t$. Тогда, если в момент времени ℓ кривая $Y(t) = n\Delta y$, $n = 1, \dots, N$, пересекает клетку $i\Delta y$, ее состояние описывается матрицей

$$\psi(\ell) = \begin{vmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix},$$

, где I стоит в i -ой строке.

Очевидно, набор матриц $\|\psi(\ell)\|$, $\ell = 1, 2, \dots$, описывает кривую. При наличии статистической совокупности кривых, описывающих определенный класс, его можно представить набором матриц вероятностей переходов $\{G(\ell, \ell+1)\}$, где $G(\ell, \ell+1) = \|g_{ij}(\ell, \ell+1)\|$ $g_{ij}(\ell, \ell+1)$ - вероятность того, что кривая, в момент ℓ находившаяся в клетке $i\Delta y$, в момент $\ell + 1$ перейдет в клетку $j\Delta y$.

Имея описания класса и отдельной кривой, можно прогнозировать ход этой кривой в будущие моменты времени, используя розыгрыш Монте-Карло, по следующей формуле:

$$\psi(\lambda+1) = R_e G(\lambda, \lambda+1)\psi(\lambda),$$

где $R_e G(\lambda, \lambda+1)$ - редуцированная матрица вероятностей переходов. Этот метод был обобщен на случай многомерного пространства и применен к некоторым практическим задачам /3/. Было разработано несколько алгоритмов, выбор которых в основном определялся конкретной постановкой и условиями задачи. Среди них алгоритм с использованием последовательного критерия отношений вероятностей, алгоритм по максимальной сумме и с наиболее вероятной кривой. Все вышеприведенные алгоритмы были запрограммированы на машине БЭСМ-2.

Другим математическим методом, примененным нами к некоторым задачам психологии и медицины, является специфический раздел современной многомерной статистики - факторный анализ. Этот метод позволяет решать с некоторым приближением одну из наиболее распространенных задач научного исследования, именно задачу построения той или иной схемы классификации, т.е. компактного содержательного описания исследуемого явления на основе обработки больших информационных массивов. Последнее является совершенно необходимым для достоверного прогнозирования раз-

вития динамики явления или поведения сложной системы. В факторном анализе информация об изучаемом явлении представляется в форме таблицы данных, в которой строки соответствуют множеству наблюдений за состоянием изучаемого явления, а столбцы-множеству характеристик или признаков, описывающих данное явление. Такая таблица недостаточна для понимания существа явления и для целенаправленного управления этим явлением. Факторный анализ позволяет выяснить внутренние закономерности и взаимосвязи между признаками, вскрыть логическую структуру сложного явления путем выделения общих факторов, ответственных за корреляцию между признаками.

Процесс выделения факторов начинается с составления матрицы коэффициентов корреляции. Цель состоит в переходе от редуцированной матрицы корреляций R (на диагонали-общности) к редуцированной факторной матрице F по формуле $R = FF'$ (1), где F' - транспонированная матрица F. Эта процедура позволит определить:

1) сколько общих факторов необходимо для отражения всех корреляций между переменными,

2) каковы нагрузки каждого фактора для разных переменных.

Из формулы (I) следуют уравнения:

$$r_{ab} = r_{ac_1} r_{bc_1},$$

которые означают, что корреляция между переменными a и b (r_{ab}) в случае n некоррелированных факторов c, общих для обеих переменных, равна сумме произведений нагрузок каждого фактора на эти переменные, r_{ac_1} и r_{bc_1} - нагрузки фактора c_1 по обеим переменным a и b, корреляция r_{ac_2} и r_{bc_2} - нагрузки фактора c_2 при переменных a и b, r_{ac_n} и r_{bc_n} - нагрузки n-го фактора, общего

для обеих переменных.

В наших задачах использовался центроидный метод определения факторов, метод главных компонент и метод максимального правдоподобия. Были составлены программы на языке АЛГОЛ для машины БЭСМ-2. Программы апробированы на модельных задачах /8/. Была предпринята попытка применения нелинейного факторного анализа к задачам медицины - выделения существенных признаков и симптомов заболевания, а также к задаче оценки научно-технических исследований /9,10/.

Следует признать, что применение методов математической статистики к таким задачам, как распознавание, прогнозирование, классификация в области медицины, психологии, социологии, не удовлетворяет нас по следующим причинам:

I) всякая математическая модель налагает на исходный информационный материал определенные ограничения. Так, в методе анализа одномерных временных рядов процесс изменения сигнала должен быть марковским, в факторном анализе - связь между переменными должна быть линейной и т.п. В реальной же ситуации трудно отыскать задачу, которая соответствовала бы всем требованиям, налагаемым на нее методом. Поэтому приходится делать какие-то допущения, предположения, которые, в общем-то, не всегда соответствуют реальности, вследствие чего снижается достоверность получаемых результатов;

2) как всякая модель, любая математическая модель неполна;

3) сложность, многомерность, многофакторность исследуемых явлений заставляют использовать адекватные им методы, которые тоже являются сложными, объемными и громоздкими, что иногда не допускает возможности решить задачу даже на ЭВМ.

4) и, наконец, затруднение, общее для всех "системных" задач, -

это вопрос представления полной, достоверной и надежной информации.

Все вышеизложенные факторы заставили нас искать другие методы решения задач прогнозирования, планирования, оценки эффективности, распознавания, т.е. тех задач, которые требуют моделирования человеческого интеллекта. В качестве такого метода, используемого для интенсификации интеллектуальной деятельности, разработан метод индуцирующего психоэвристического программирования (ИПИД), предложенный В.В.Чавчанидзе /10-16/.

В основе метода лежит "эффект индуцирования продуктивного мышления личности или группы людей в управляемом процессе психоинтеллектуальной деятельности в условиях особо организованной, программируемой имитации проблемной ситуации естественного сознательного творческого процесса" /19/.

Разработаны схемы применения индуцирующего психоэвристического программирования к планированию и прогнозированию научных исследований, развертыванию и прогнозированию решения научной проблемы и к задаче построения дерева прогнозов будущего /17 - 20/. . Использовалась система неформального и немашинного решателя проблем планирования и прогнозирования научных исследований. Решение было найдено на пути кибернетического подхода к задаче о движении к цели. Планирование в науке должно быть "по-объектным", когда один и тот же объект оказывается освещенным с точки зрения многих наук. Проблема должна разворачиваться на подпроблемы на структурной основе путем движения к кибернетически поставленной цели. Под этим понимается:

1) возможность управлять объектом и практическое использование выявившихся особенностей и свойств,

2) возможность воспроизводства основных существенных механизмов, характеризующих состояние объекта.

После выбора кибернетически поставленной цели встает задача поиска пути исследования. При этом необходимо двигаться к проблеме от цели путем постановки критических вопросов для выяснения того, какие затруднения возникают при достижении цели, подцелей и выборе средств их преодоления. При этом Испытуемый (т.е. человек, планирующий решение проблемы и подвергнутый процедуре психоэвристического эксперимента) "наводится" на цель по специально составленной схеме. В экспериментах по планированию и прогнозированию научных исследований участвуют Ведущий, Испытуемый и Эксперты. Ведущий, беседуя с Испытуемым, ставит вопросы по заранее отработанной системе для наведения его на цель, при этом используя возможности ЭВМ и "Вопросника", прибегая в нужные моменты к помощи экспертов. Машина и "Вопросник" содержат следующие блоки:

1) "Вопроситель" - хранит и выдает в определенной последовательности серию вопросов для постановки их перед Испытуемым,

2) "Напоминатель" - содержит необходимые Ведущему в ходе эксперимента данные и напоминает о них,

3) "Решатель" - содержит критерии приемлемости для Ведущего ответов Испытуемого,

4) "Сравнитель" - предназначен для оценивания ответов Испытуемого и выдачи Ведущему дальнейших указаний,

5) "Фиксатор" - хранит ответы Испытуемого, промежуточные и окончательные результаты психоэвристического эксперимента.

Схема ведения эксперимента дает наглядное представление о действиях Испытуемого, Ведущего, Экспертов в процессе движения к цели. Для каждого вида психоэвристического эксперимента суще-

ствует своя схема. Особенностью рассматриваемой схемы является наличие циклов, позволяющих заново проходить определенные участки эксперимента.

Целью ПИГ по использованию решения научных проблем было следующее: I) развертывание и прогнозирование решения проблемы, 2) составление плана решения проблемы. Эксперимент начинается с опроса Испытуемого относительно формулировки проблемы в том виде, как он ее представляет. Имея представление о проблеме и цели Испытуемого, Ведущий и Эксперты проверяют их соответствие, т.е. решают вопрос, приведет ли решение поставленной Испытуемым проблемы к той цели, которую он преследует. Если такого соответствия нет, то заново проводится цикл уточнения цели и формулировки проблемы. В случае полного соответствия, Ведущий, учитывая недостатки и упущения этих формулировок, с точки зрения критериев кибернетичности, сам четко формулирует цель проблемы таким образом, чтобы удовлетворялись требования "управляемости", "воспроизводимости" и "всеобщности применения" результатов достижения цели, и предлагает Испытуемому принять эту новую кибернетическую формулировку цели.

В случае несогласия Испытуемого, Ведущий и Эксперты задают ряд вопросов для наведения Испытуемого на кибернетическую цель, приводя примеры и доводы, убеждающие его в целесообразности и оптимальности новой постановки цели. Затем начинается новый процесс развертывания проблемы с учетом новой цели. Он предполагает перечень всех возникающих подпроблем и расположение их по иерархическим уровням, согласно выбранным критериям (уровень теоретических разработок, уровень экспериментальных исследований и т.д.). Иерархическое разбиение подпроблем способствует полному, четкому пониманию проблемы. Затем Испытуемому

предлагается выбрать ту подпроблему или несколько подпроблем, с которых он начал бы путь к цели, и ставится задача поиска решения проблемы и конкретного планирования одного из путей прихода к цели. Для этого у Испытуемого выясняются возможные средства и методы, которые он использует. В случае наличия метода или подхода выясняются основные принципиальные затруднения, если же подхода к решению нет, то происходит выявление всех возможных затруднений в выборе методов решения. Затем проводится цикл поиска "ключа" к предъявлению затруднений с применением принципов самоорганизации, полноты и т.п. После выявления метода или подхода к решению подпроблемы и оценки возможности решения проблемы целиком, происходит сравнение других путей решения проблемы, в которых за исходные берутся другие подпроблемы.

Сравнительный анализ позволяет в дальнейшем выбрать наиболее эффективный путь. Критерии эффективности состоят как из общих критериев, присущих вообще всем ПЭЭ по планированию, так и специфических. После нахождения принципиального решения проблемы начинается процесс планирования работы Испытуемого поэтапно, в деталях. Таким образом, метод ИПИД дает возможность за короткий срок выявить иерархию подцелей прогноза и с наибольшей полнотой отразить взаимосвязь и взаимозависимость явлений и факторов, влияющих на получение прогноза. Результатом ПИГ является иерархическая система соподчиненных факторов, указывающих на необходимую последовательность подачи данных для возможности построить прогноз /20,2I/.

Другим многообещающим подходом к задачам прогнозирования является метод концептуального формализма, разработанный В.В. Чавчанидзе /23-28/.

Исходим из представления о прогнозировании как о процессе,

состоящем из последовательной смены концептуальных схем по мере поступления новой информации и формирования все новых приближений к понятию прогноза. Под понятием прогноза подразумевается вычислимое понятие, т.н. концепт /30-31/.

Построению прогноза предшествует описание прогнозной ситуации в виде набора признаковых систем и их иерархическое представление в форме дерева развертки понятия прогноза (концепта). Определение "понятие прогноза" ищется в соответствии с определением концепта, как такой формы сочетаний значений признаков, описывающих объект прогноза, которая содержит существенную информацию о нем, присущую всему возможному многообразию реально встречающихся объектов с данным прогнозом. Назовем реализацией $T_k = \check{x}_1 \check{x}_2 \cdots \check{x}_n$ описание объекта прогноза в виде набора признаков $\check{x}_i \ (i = 1, 2, \cdots, n)$, принимающих значения 0 или I: $\check{x}_i = \begin{cases} x_i, \text{ если } \check{x}_i = 1 \\ \overline{x}_i, \text{ если } \check{x}_i = 0 \end{cases}$. Множество реализаций M разбивается на подмножества M_{i_τ} в соответствии с определенной прогнозной оценкой ε_τ. Поскольку каждый признак $\check{x}_i$ определяет свою фильтрационную функцию $\check{\Psi}_i$, то условно набор фильтров можно представить как

$$\Phi^n = \bigcup_{i=1}^{n} \frac{2^n}{2^i} \binom{1}{0} 2^{i-1} = \bigcup_{i=1}^{n} 2^{n-i} \binom{1}{0} 2^{i-1},$$

что означает объединение таких фильтров, каждый из которых представляет последовательность I и 0, повторяемых 2^{i-i} раз с периодом 2^{i-1}. Процесс фильтрации реализаций, т.е. пропускания их через систему фильтров, сводится к последовательной процедуре получения все более узких интервалов значений j по мере измерения признаков $\check{x}_i$.

Описание прогнозной ситуации сводится к определению множества M_{ε_τ} подмножеств реализаций, пропущенных через сис-

тему фильтров. Тогда формирование концепта прогноза C_{ε_τ} относительно исходного объекта должно происходить для каждой оценки ε_τ.

Первый уровень иерархии подпонятий строится из тех значений признаков, вероятности которых равны I или 0, второй уровень - уровень тех подпонятий, которые отличаются по форме от элементов первого уровня одним признаком, третий уровень содержит сочетания значений признаков, отличающихся от предыдущего уровня одним элементом и т.д. Последний уровень представляет собой все множество реализаций исходной выборки. Таким образом, в дереве подпонятий каждый уровень соответствует определенному значению вероятности встречи элементов, составляющих этот уровень. Первый уровень будет соответствовать существенным сочетаниям значений признаков и интерпретироваться как необходимое условие достижения цели прогноза. Следующие за первым уровни дают достаточные условия для данного прогноза с соответствующими вероятностями.

В алгоритме подсчета вероятностей предусмотрен случай их пересмотра, когда имеются дополнительные сведения об объекте.

Формула первого приближения к концепту прогноза имеет следующий вид:

$$C_1 = \bigcup_k P_k [\bigcup_j (\bigcap_i x^j_{k_i})].$$

Включение каждой вновь поступающей реализации в исходную выборку приводит к следующему приближению. Этот процесс продолжается до тех пор, пока добавление любой реализации не будет изменять формулу концепта прогноза. Тогда считаем $\lim_{\varepsilon \to \infty} C_\varepsilon = C$ окончательной формулой концепта.

Таким образом, понятийное моделирование прогнозирующей

деятельности является ориентированным как на человека, так и на машину, и позволяет сочетать в себе строгую вычислимость со способностью отражать многозначность проявлений и поведения систем. Практика показала, что методы концептуального формализма, совмещающие в себе как формальные, так и неформальные аспекты моделирования интеллектуальной деятельности, свободны от недостатков чисто формального математического подхода и являются универсальным средством описания прогнозных ситуаций.

Литература

1. В.В.Чавчанидзе. Одномерные временные ряды и извлечение информации из энцефалограмм. Деп. ВИНИТИ, 1964.
2. О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, В.В.Чавчанидзе. Сб."Теоретические вопросы бионики","Мецниереба", Тбилиси, 1966,
3. В.В.Чавчанидзе, О.И.Галицкая, А.В.Корнеева. Сообщения АН ГССР, № 2, 1968.
4. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева, О.И.Галицкая. Статистическое моделирование поведения объекта на основе матриц вероятностей переходов. Доклады У Межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. М., 1968.
5. В.В.Чавчанидзе, О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, А.А.Сорина. Сб. "Математические методы в психиатрии и неврологии", Л., 1968.
6. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева, О.И.Галицкая, Н.В.Пиотровская, Сб."Проблемы нейрокибернетики". Изд.Ростовского университета, 1969.
7. В.В.Чавчанидзе, О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, О.Г.Петриашвили. Сообщения АН ГССР, L , № 3, 1968.
8. О.И.Галицкая. Об исследовании механизма оценки врачом симптомов методом факторного анализа. Принципы вероятностной организации поведения, распознавания и медицинской диагностики. Тезисы докладов Юбилейной научно-технической конференции, посвященной 75-летию изобретения радио. Май, 1970, Ленинград.

9. Галицкая О.И.,Л.К.Кутателадзе. Применение метода нестатического факторного анализа к оценке научно-технических исследований. Тезисы докладов I Симпозиума по планированию научными исследованиями. М., 1971.
10. О.И.Галицкая, А.В.Корнеева. Метод нестатического факторного анализа в применении к некоторым задачам психологии. Материалы IУ Всесоюзного съезда общества психологов, Тбилиси, 1971.
11. В.В.Чавчанидзе, Психоэвристическое программирование интеллектуальной деятельности человека в больших системах (интеллектуалистика),Деп.ВИНИТИ, № 298-68,1968.
12. О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, И.Ш.Чумбуридзе. Сообщения АН ГССР, т.53, № 2, 1969.
13. И.Ш.Чумбуридзе, А.В.Корнеева, О.И.Галицкая, Г.Н.Микашавидзе, Н.Н.Береникашвили. Методика организации процесса психоинтеллектуальной генерации.Материалы IУ Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1968.
14. О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, И.Ш.Чумбуридзе. Методика проведения психоэвристического эксперимента по планированию научных исследований. Сообщения АН ГССР, 53, № 2, 1969.
15. В.В.Чавчанидзе. Индуцирующее психоэвристическое программирование (метод неформальных и немашинных эвристик в применении к долгосрочному планированию и прогнозированию научных исследований). Материалы IУ Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1968.

16. В.В.Чавчанидзе, О.И.Галицкая. Сообщения АН ГССР, 53, № 2, 1969.

17. В.В.Чавчанидзе, О.И.Галицкая. Сообщения АН ГССР, 53, № 3, 1969.

18. О.И.Галицкая, А.В.Корнеева, В.В.Чавчанидзе. Вопросы научного прогнозирования, № II, М., 1969.

19. О.И.Галицкая. Вопросы научного прогнозирования, № II, М., 1969.

20. О.И.Галицкая, В.В.Чавчанидзе. Психоэвристический метод построения дерева прогнозов будущего. Материалы У Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1970.

21. О.И.Галицкая, И.Ш.Чумбуридзе, А.В.Корнеева. Психоэвристический подход к планированию научных исследований и процессу научного поиска на основе метода ИПИД, Тезисы докладов I симпозиума по планированию и управлению научными исследованиями. М., 1971.

22. В.В.Чавчанидзе. Метод индуцирования психинтеллектуальной деятельности и проблема долгосрочного прогнозирования научных исследований. Материалы междунар.научного симпозиума ученых и специалистов стран СЭВ и СФРЮ по методологическим вопросам прогнозирования развития науки и техники,1970.

23. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью (психоэвристическое программирование), 1974,"Мецниереба", Тбилиси.

24. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, 63, № I, 1971.

25. V.V.Chavchanidze. Kybernetes v.3, N 1, 1974.

26. В.В.Чавчанидзе, Сообщения АН ГССР, т.61, № I, 1971.

27. О.И.Галицкая. Применение концептуального формализма к задачам медицинского прогнозирования. Материалы II Республиканской конференции по применению математических методов и вычислительной техники в здравоохранении и медицине, Тбилиси, 1975.

28. О.И.Галицкая, В.В.Чавчанидзе. О решении задачи прогнозирования методом концептуального формализма. Труды IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, 1975, I, 72-1.80.

29. В.В.Чавчанидзе. Б.Х.Рачвелишвили, О.И.Галицкая. Сообщения АН ГССР, 78, № 2, 1975.

30. О.И.Галицкая, В.В.Чавчанидзе. О решении задачи медицинской прогностики методом концептуального формализма. Естественный и искусственный интеллект.(Концептуальный подход). Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, Тбилиси, 1976.

О ПОДХОДАХ К МОДЕЛИРОВАНИЮ УСТАНОВОЧНОГО И КОНЦЕПТУАЛЬНО-УСТАНОВОЧНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Дундуа А.Г.

Установочное состояние – это целостно-личностное психофизиологическое состояние, предшествующее любому акту поведения и предопределяющее его / I /. Установка вырабатывается на основе объективной ситуации, складывающейся из актуальной потребности организма и стимулов, поступающих из среды. Если реакция не соответствует объективной ситуации, то в мозг посылаются корректирующие сигналы, меняющие установку на новую, более соответствующую данному стимулу и потребности.

Теория установки, разработанная психологической школой Д.Н.Узнадзе, давно легла в основу учения о бессознательном психическом.

Моделирование установочного поведения человека – весьма важный и сложный вопрос в области моделирования психических функций человека вообще.

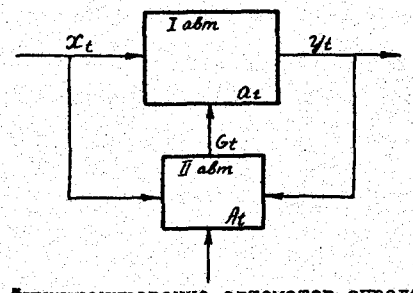
Первым шагом в этом направлении надо считать построение профессором В.В.Чавчанидзе т.н. кроссавтоматной модели установки, которая хорошо описывает двухуровневую структуру установочного поведения / 23 /.

Кроссавтомат, с соответствующим подбором описывающих его функций, можно использовать для моделирования установочного поведения живого организма в разных конкретных случаях / 4 /.

Несколько видоизменив схему модели и подобрав описывающие её функции, мы построили кроссавтомодель установочного по-

ведения грудного ребенка-человека с ограниченным пространством потребностей и немногочисленными связями для взаимодействия со средой.

Схема модели выглядит так:



Функционирование автоматов определяется двумя системами уравнений:

$$a_t = \begin{cases} a_1(a_0 x_1) & , t=1 \\ a_t(a_{t-1}, x_t, g_t) & , t>1 \end{cases}$$

$$A_t = A_t(A_{t-1}, x_t, p_t)$$

$$G_t = G_t(A_t, U_t) ,$$

где $U_t = U_t(x_t, y_t)$ – успешность реакции y_t в соответствии со стимулом x_t .

Все переменные даются в виде векторов шестого порядка, записанных в двоичной системе исчисления, а функции представляют собой логические булевые функции.

Модель построена таким образом, что при данной потребности и стимуле соответствующую реакцию получаем максимум за 4 такта с начала работы модели. При неправильной реакции в каком-нибудь такте срабатывает автомат – II, выдавая корректирующие сигналы, изменяющие пространство установочных состоя-

ний автомата - I таким образом, чтобы изменилась установка и нужная реакция проявилась за минимум времени.

Для экспериментальной проверки модели составлена программа для электронно-вычислительной машины на языке "ФОРТРАН" под названием BM (babys Model).

Программа работает успешно.

Для машинного моделирования установочного поведения весьма интересен другой подход.

Профессором В.В.Чавчанидзе выдвинута гипотеза об идентичности установочной и концептуальной активности в том смысле, что в основе обоих проявлений лежит одна и та же церебральная структура / 5,6 /.

Проведены многочисленные эксперименты с целью выявления концептуальной природы установочного поведения / 7,8 /.

Методика проведения опытов похожа на т.н. методику фиксированной установки Д.Н.Узнадзе.

Испытуемым показывали серию изображений объектов одного класса (I5 - 20 раз). Эти объекты всеми компонентами отличались друг от друга, хотя представляли один и тот же класс.

В результате у испытуемых вырабатывалось понятие (концепт) об этом классе и любой другой объект в контрольном показе они относили к фиксированному концепту, воспринимали его как объект предшествующего класса / 9 /.

Получены иллюзии концепта / I0, II /, что говорит о фиксации в мозге концептуальных ансамблей нейронов / I2 /, соответствующих показываемым классам объектов. Эти иллюзии подтверждают существование патологии восприятия под влиянием ранее выработанного фиксированного концепта и тем самым гипотезу о концептуальной природе механизмов установочного поведения.

Экспериментально подтвержденным можно считать тот факт, что фиксация каждого концепта влечет за собой фиксацию установок (в классическом смысле) на все составные компоненты этого концепта.

Следует подчеркнуть радикальные изменения в наших взглядах на сущность феномена установки. Согласно подтвержденной гипотезе, установка есть внешняя форма описания факта существования концептов, сами же концепты формируются и трансформируются под влиянием внешних раздражений в головном мозге, где они хранятся в форме канов / I2 /.

Экспериментально было проверено также положение о том, что концепт - более содержательная сторона, а установка, сопутствующая ему, синтаксис поведения.

Вышеописанные результаты экспериментальных исследований дают право вместо установочного поведения говорить о концептуально-установочном поведении.

Так как математический аппарат для моделирования формирования концептов разрабатывается / I3 /, то можно считать, что и концептуально-установочное поведение будет машинно-моделируемым поведением.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Д.Н.Узнадзе. Экспериментальные основы психологии установки. Тбилиси, I96I г.

2. В.В.Чавчанидзе. В сб. "Принятие решения человеком". "Мецниереба", I967 г.

3. В.В.Чавчанидзе. Сообщ. АН ГССР, т. 54, №22, I969 г.

4. А.Г.Дундуа. Тезисы IУ Психологического конгресса СССР, Тбилиси, I97I г.

5. V.V.Chavchanidze. Abstracts Guide of XX-th International Congress of Psychology. Tokyo, 1972.
6. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т. 69, № 3, 1973 г.
7. А.Г.Дундуа, Н.М.Бахтадзе, М.Н.Кецба, Л.Г.Кадагишвили, Н.И.Иремашвили. Материалы Коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем" (Медицина, наука, техника), г. Батуми, 24-28 апреля 1973 г., Тбилиси, 1973 г.
8. А.Г.Дундуа. Материалы УII Всесоюзного симпозиума по кибернетике. Тбилиси, 1974 г.
9. А.Г.Дундуа, Н.М.Бахтадзе, Л.Г.Кадагишвили, М.Н.Кецба. Материалы IУ МОКИИ, Тбилиси, 1976 г.
10. А.Г.Дундуа. Сообщения АН ГССР, Т. 81, № 2, 1976 г.
11. А.Г.Дундуа. Материалы IУ МОКИИ, Тбилиси, 1976 г.
12. В.В.Чавчанидзе. Материалы IУ МОКИИ, Тбилиси, 1976 г.
13. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева. Сообщения АН ГССР, т. 61, № 1, 1971 г.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОНЯТИЙ И РАСПОЗНАВАНИЕ ПЛОСКИХ БИНАРНЫХ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Шишигин М.И.

В работах /1-6/ приведено общее решение проблем формирования и распознавания образов с точки зрения ИКИ (искусственного концептуального интеллекта). Сейчас на повестку дня встал вопрос экспериментального доказательства плодотворности этих идей на частных задачах распознавания образов.

Метод обработки и кодирования плоских бинарных изображений

Отличительной особенностью рассматриваемого метода формирования понятий и распознавания плоских образов является то, что на рецепторное поле подаются плоские образы, "размытые" гомеоморфизмом f дискретных топологических пространств /7/, определенных на плоскости (X,Y) и на множестве кривых

$$\{\Gamma(x,y)\}_{x\in X, y\in Y} = \{(\theta,\rho)/\rho = x\cdot\cos\theta + y\cdot\sin\theta\}_{x\in X, y\in Y}$$

$$(x,y) \xrightarrow{f} \Gamma(x,y) = \{(\theta,\rho)/\rho = x\cdot\cos\theta + y\cdot\sin\theta\}. \qquad (1)$$

Причем, изображение задается на плоскости (X,Y), а в основу рецепторного поля положена плоскость (θ,ρ).

Гомеоморфизм (1) примечателен тем, что образы $\Gamma(x_i,y_i)$ коллинеарных точек (x_i,y_i), лежащих на прямой $x\cdot\cos\theta_0 + y\cdot\sin\theta_0 = \rho_0$, заданной нормальной системой параметров на плоскости (X,Y), проходят через точку (θ_0,ρ_0) (рис.1).

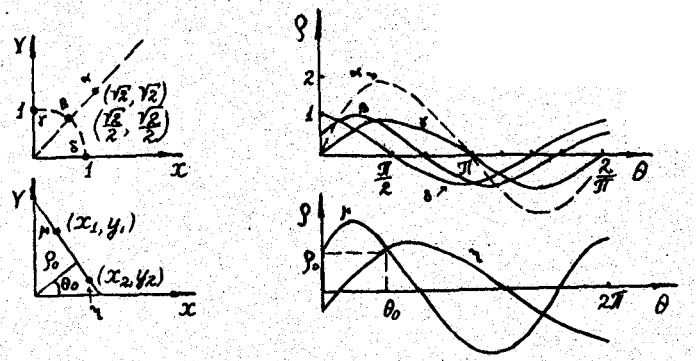


Рис. I

Предположим, что плоские образы, для которых строится идентифицирующее понятие, задаются на прямоугольнике с длинами сторон X_L и Y_L, вдоль которых проведены координатные оси (рис.2).

Причем для каждого образа можно указать прямоугольник со сторонами $\Delta x, \Delta y (0<\Delta x \le X_L,\ 0<\Delta y \le Y_L)$, полностью охватывающий его контуры (рис.2). Точки (x_i, y_i), составляющие исследуемый образ, подвергаются преобразованию

$$\rho = \frac{X_L}{\Delta x}(x_i - x_0)\cos\theta + \frac{Y_L}{\Delta y}(y_i - y_0)\sin\theta,$$

где (x_0, y_0) - вершина прямоугольника со сторонами Δx, Δy, которое "размывает" их в кривые на плоскости (θ, ρ).

По сути, гомеоморфизм (I) позволяет производить сечение плоских образов произвольными прямыми на плоскости (X, Y). Заметим, что на плоскости (θ, ρ) достаточно рассматривать значения $\theta \in [0, 2\pi]$, а значения ρ - от 0 до величины диагонали прямоугольника, заданного на плоскости (X, Y).

В случае машинной обработки образы задаются дискретной бинарной матрицей, т.е. для каждой пары (i, j), где $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, S_{ij} является квадратом, определенным неравенствами

$i-1 \le x < i$, $j-1 \le y < j$ и

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если образ проходит через } S_{ij} \\ 0 \text{ в противном случае} \end{cases}$$

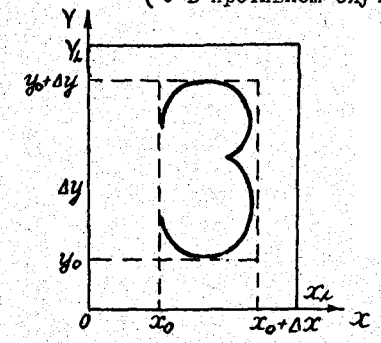


Рис.2

Рецепторное поле R представляет собой дискретный вариант области плоскости (θ, ρ),

$$\theta \in (0, 2\pi), \quad 0 \le \rho \le \mathcal{D},$$

где $\mathcal{D}$ - величина диагонали прямоугольника плоскости (X, Y).

Положим, размерность рецепторного поля $N \times M$ и каждая ячейка A_{ij} $(i = \overline{1, N},\ j = \overline{1, M})$ характеризуется предикатом ε_{ij}

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если в ячейку } A_{ij} \text{ попадает "размытый" образ одной из точек дискретного образа плоскости,} \\ 0 \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

В рассмотренном методе кодирования плоских бинарных изображений в некотором смысле осуществляется принцип "голограммы", при котором каждый элемент рецепторного поля R несет достаточно полную информацию о всем исходном изображении.

Каждый элемент исходного изображения, принимающий значение I, "размывается" топологическим отображением f в кривую на рецепторном поле R. Это преобразование позволяет представить исходное изображение в виде пары $W = (S, f(S))$, где S -

фактическое изображение, а $f(S)$ - образ изображения на рецепторном поле.

Эта пара позволяет представлять изображение как дискретно-непрерывную систему, в которой символу множества S ставится в соответствие подмножество элементов рецепторного поля R. Причем в зависимости от конкретной задачи степень квантования рецепторного поля R (размерность $N \times M$) задается так, что подмножество элементов можно рассматривать как "непрерывный" образ на рецепторном поле R соответствующей точки множества S.

Формирование существенных признаков в задаче идентификации класса ориентированных плоских бинарных образов

Задача идентификации класса ориентированных образов $\Theta = \{\Theta_\alpha\}_{\alpha \in \mathfrak{A}}$ на плоскости (X,Y) формулируется как задача формирования системы признак-значение для задания в компактной форме исследуемых образов.

Образ на плоскости (X,Y) характеризуется набором величин

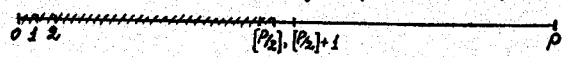
$$\rho_{ij} = \sum \delta_{ij} \quad \text{для} \quad A_{ij} \ (i = \overline{1,N},\ j = \overline{1,M}).$$

Сумма берется по всем точкам дискретного образа на плоскости (X,Y). Множеством значений для величин $\rho_{ij}\ (i = \overline{1,N},\ j = \overline{1,M})$ является множество $P = \{0,1,\dots,p\} = \{k / k = \overline{0,p}\}$, где p - число дискретизации диагонали прямоугольника плоскости (X,Y) $p = [\sqrt{n^2 + m^2}]$, где квадратные скобки означают взятие целой части.

Осуществив операцию бинаризации над множеством P, каждая ячейка A_{ij} рецепторного поля будет характеризоваться

предикатом

$$\check{a}_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } & \rho_{ij} \in \{0,1,\dots,[\frac{p}{2}]\}, \\ 0, \text{ если } & \rho_{ij} \in \{[\frac{p}{2}]+1,\dots,p\}. \end{cases}$$



либо в обозначениях монографии /8/

$$\check{a}_{ij} = \left[\rho_{ij} \le [\tfrac{p}{2}]\right].$$

Каждому образу $\Theta_\alpha \in \Theta$ соответствует матрица

$$\left(\check{a}_{ij}(\Theta_\alpha)\right)_{i=\overline{1,N},\ j=\overline{1,M}}.$$

Имеем сумму матриц по всем образам класса Θ

$$\Psi_{ij}(\Theta) = \sum_{\alpha \in \mathfrak{A}} \check{a}_{ij}(\Theta_\alpha).$$

Идентификатор класса образов $\Theta = \{\Theta_\alpha\}_{\alpha \in \mathfrak{A}}$ строится как множество элементов матрицы $\Psi_{ij}(\Theta)$, для которых

$$\sum \check{a}_{ij} > n'|\mathfrak{A}| \quad \text{или} \quad \sum \check{a}_{ij} < n''|\mathfrak{A}|$$

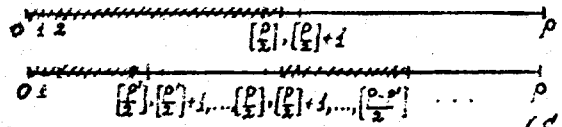
(сумма берется по всем образам класса Θ), где n' и n'' - пороговые значения (например 0,75 и 0,25, соответственно).

Имеем матрицу $(S_{ij})_{i=\overline{1,N},\ j=\overline{1,M}}$

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } & \sum \check{a}_{ij} > n'|\mathfrak{A}| \\ 0, \text{ если } & \sum \check{a}_{ij} < n''|\mathfrak{A}| \end{cases}$$

(пустой элемент), если $n''|\mathfrak{A}| < \sum a_{ij} < n'|\mathfrak{A}|$.

Элементы матрицы $(S_{ij})_{i=\overline{1,N},\ j=\overline{1,M}}$, отличные от пустых элементов, являются доминирующими при заданных пороговых значениях. Для уточнения значимости доминирующих элементов матрицы $(S_{ij})_{i=\overline{1,N},\ j=\overline{1,M}}$ следует осуществить операцию бинаризации над множествами $\{0,1,\dots,[\frac{p}{2}]\}$, $\{[\frac{p}{2}]+1,\dots,p\}$, а также формирование доминирующих признаков на этом уровне



Для доминирующих признаков первого уровня $(S_{p,\gamma})$, равных I,

имеем

$$\overset{\vee}{b}_{p,\gamma}=\begin{cases} \text{I, если } p_{p,\gamma}\in\{0,1,\dots,[\frac{p'}{2}]\}, & p'=[\frac{p}{2}], \\ \text{0, если } p_{p,\gamma}\in\{[\frac{p'}{2}]+1,\dots,[\frac{p}{2}]\}. \end{cases}$$

Для доминирующих признаков первого уровня $(S_{p,\gamma})$, равных 0, имеем

$$\overset{\vee}{b}_{p,\gamma}=\begin{cases} \text{I, если } p_{p,\gamma}\in\{[\frac{p'}{2}]+1,\dots,[\frac{p-p'}{2}]\}, & p'=[\frac{p}{2}], \\ \text{0, если } p_{p,\gamma}\in\{[\frac{p-p'}{2}]+1,\dots,p\}. \end{cases}$$

Продолжая процесс формирования доминирующих признаков по частоте выпадания, получим иерархическую систему доминирующих признаков $(S^{(1)}_{i(1),j(1)}, S^{(2)}_{i(2),j(2)},\dots, S^{(k)}_{i(k),j(k)})$, которую назовем концептом класса образов $\Theta=\{\Theta_\alpha\}_{\alpha\in\mathfrak{A}}$. Естественно, что задание уровня иерархии концепта зависит от конкретной задачи.

Примечание. Символ $[\cdot]$ обозначает взятие целой части числа.

Формирование понятий и распознавание плоских образов, инвариантных относительно конгруэнтных преобразований и операции подобия

Задача идентификации образов $\Theta=\{\Theta_\alpha\}_{\alpha\in\mathfrak{A}}$ на плоскости (X,Y), инвариантных относительно конгруэнтных преобразований и операции подобия /9/, формулируется как задача формирования систем признак-значение для задания в компактной форме исследуемых образов.

Как было уже отмечено, образ на плоскости (X,Y) характеризуется набором величин $\rho_{ij}=\sum\varepsilon_{ij}$ для $A_{ij}\,(i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M})$. Сумма берется по всем точкам дискретного образа на плоскости (X,Y).

В качестве базисной системы признаков берется множество возможных значений $P=\{0,1,\dots,p\}=\{k/k=\overline{0,p}\}$ для величин $\rho_{ij}\,(i=\overline{1,N}, j=\overline{1,M})$, где p – число дискретизации диагонали прямоугольника на плоскости (X,Y). В качестве множества значений k-го признака берется число λ_k ячеек A_{ij}, принимающих значение $\rho_{ij}=k$. Каждому образу $\Theta_\alpha\in\Theta$ соответствует некоторое распределение $\{\lambda^\alpha_k\}_{k=0,1,\dots,p}$ в выбранной системе признак-значение. Идентификатор класса образов $\Theta=\{\Theta_\alpha\}_{\alpha\in\mathfrak{A}}$ строится как подмножество $P'\subset P$, которое не ухудшает результата идентификации. В качестве доминирующих признаков P' следует выбрать подмножество, для элементов которого

$$\frac{1}{|\mathfrak{A}|}\sum_{\alpha\in\mathfrak{A}}(\lambda^\alpha_k-\bar{\lambda}_k)^2<\Delta S,$$

где ΔS – некоторая пороговая величина, $|\mathfrak{A}|$ – мощность множества $\mathfrak{A}$,

$$\lambda_k=\frac{1}{|\mathfrak{A}|}\sum_{\alpha\in\mathfrak{A}}\lambda^\alpha_k.$$

Примечание. Статистические оценки осуществляются по каждому признаку k, $k\in P=\{0,1,\dots,p\}$ (атомарно), а не по всей совокупности.

Размерность рецепторного поля $N\times M$ и пороговая величина ΔS определяют "разлизанность" исследуемых образов.

Заключение

Создан комплекс программ и подпрограмм, предназначенных для обработки и кодирования плоских бинарных изображений, а

также для формирования понятий и распознавания плоских образов, инвариантных относительно конгруэнтных преобразований и операции подобия.

В комплекс входят программы READ и READ1, подпрограммы

SUBROUTINE TOPOL,
SUBROUTINE NUM,
SUBROUTINE IDENT.

Программа READ предназначена для обработки и кодирования плоских бинарных изображений в системе координат (θ,ρ) с помощью преобразования

$$(x,y)\mapsto\Gamma(x,y)=\{(\theta,\rho)/\rho=x\cdot\cos\theta+y\cdot\sin\theta\},$$

а также формирования идентифицирующего правила для класса плоских образов, инвариантных относительно конгруэнтных преобразований и операции подобия. В программу READ включены подпрограммы

SUBROUTINE TOPOL,
SUBROUTINE NUM,
SUBROUTINE IDENT.

Программа READ1 предназначена для распознавания плоских бинарных образов на основе идентифицирующего правила, выработанного программой READ. В программу READ1 включены подпрограммы

SUBROUTINE TOPOL,
SUBROUTINE NUM.

Этот комплекс программ апробирован на ЭВМ GE-130. Апробирование метода формирования понятий и распознавания плоских бинарных образов, положенных в основу программ READ и READ1, преследовало следующие цели:

I) выяснить особенности кодирования "размазанных" образов;

2) выяснить, в какой мере пороговая величина для оценки $\frac{1}{|\alpha|}\sum_{\alpha\in\alpha}(\lambda_k^\alpha-\bar{\lambda}_k)^2$ определяет "размазанность" образов;

3) выяснить, как сказываются на идентифицируемом правиле для класса плоских образов атомарные статистические оценки, осуществляемые по каждому признаку системы признак-значение, положенной в основу описания распознаваемых образов;

4) выяснить, как связана пороговая величина DELS, предназначенная для оценки $\frac{1}{|\alpha|}\sum_{\alpha\in\alpha}(\lambda_k^\alpha-\bar{\lambda}_k)^2$ в программе READ с пороговой величиной DELS1 в программе READ1, предназначенной для оценки $|\bar{\lambda}_k-ICON(I)|$, где ICON – массив для количества 0,I,2,... преобразованного "размазанного" изображения, а также пороговой величиной DELT, указывающей на необходимую часть существенных признаков, при которой исследуемый образ можно считать относящимся к классу θ, для которого выработано идентифицирующее правило программой READ.

Проведенное апробирование показало, что:

I) предложенная схема машинного распознавания плоских бинарных образов обладает экстраполяционной способностью, т.е. способностью к распознаванию объектов, не участвующих в процессе обучения,

2) пороговые величины DELS, DELS1, DELT, а также число существенных (доминирующих) признаков N_0 и число признаков M_0 базисной системы признак-значение должны отвечать условию

$$\left|\frac{\sqrt{DELS}}{DELS1}-\frac{1-DELT}{\sqrt{\frac{N_0}{M_0}\left(1-\frac{N_0}{M_0}\right)}}\right|<1.$$

Литература

1. В.В.Чавчанидзе. Аналитические эвристики искусственного интеллекта при формировании понятий, опознавании образов и классификации объектов. Деп.ВИНИТИ, № 2080-70.
2. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.61, № 1, 1971.
3. В.В.Чавчанидзе. Проблемы принятия решений, формирования понятий и эвристической структуризации больших систем. Деп.ВИНИТИ, № 3949-72.
4. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.76, № 2, 1974.
5. В.В.Чавчанидзе. Доклады АН СССР, т.219, № 4, 1974.
6. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.76, № 3, 1974.
7. Н.Бурбаки. Общая топология. "Наука", М., 1968.
8. М.Минский, С.Пейперт. Персептроны. "Мир", М., 1971.
9. А.Розенфельд. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. "Мир", М., 1972.

О СПОСОБАХ СОСТАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ BIB - СХЕМ

Ткемаладзе Н.Т.

Пусть задано множество элементов $A=\{a_i\}, i=\overline{1,v}$. Если возможно разместить эти элементы в такие блоки $B_1, B_2, \ldots, B_b$, которые удовлетворяют следующим трем условиям:

1) $\forall B_j$ содержит одинаковое количество элементов $k<v$;
2) $\forall a_i : a_i \in A$ принадлежит одному и тому же числу r блоков;
3) для любых неупорядоченных пар $a_i a_j = a_j a_i$ число блоков, содержащих эту пару, равно λ,

то такая инцидентная система, состоящая из элементов a_i, $i=\overline{1,v}$ блоков B_j, $j=\overline{1,b}$ и отношения инцидентности $a_i \in B_j$ для определенных пар a_i, B_j, называется уравновешенной неполной блок-схемой /1,2/. Такие блок-схемы сокращенно называют BIB - схемами (balanced incomplete block design) /3,4/.

Таким образом, BIB - схема определяется пятью параметрами: v, b, r, k и λ. Для каждой BIB - схемы эти параметры принимают единственные значения. Существует и такая блок-схема, в которой λ имеет больше одного значения; такая блок-схема называется частично упорядоченной, т.е. PBIB - схемой /3/.

В настоящей работе будут рассмотрены только BIB-схемы, называемые также конфигурациями (v, b, r, k, λ) /5/.

В комбинаторной математике рассматривается три вида задач. К первому виду относятся такие задачи, в которых существование конфигураций считается сомнительным и цель исследования - доказать их существование. Такие задачи называются проб-

лемами существования. Ко второму виду относятся задачи, в которых существование конфигураций считается известным и требуется определить число конфигураций или дать их классификацию. Такие задачи называются перечислительными. К третьему виду относится разработка алгоритмов отыскания нужного решения (выборки, расположения), удовлетворяющего условия задачи /6/. Сюда относятся разработанные нами способы составления некоторых конфигураций, существование которых является известным. Предложенные в данной работе способы дают возможность простым путем получить различные блок-схемы одних и тех же параметров. Рассмотрим их в отдельности.

Способ I предусматривает составление конфигураций типа

$$(t^2,\ t^2+1,\ t+1,\ t,\ 1), \qquad \text{(I)}$$

где t – произвольное простое число.

Суть метода заключается в следующем. Множество A, состоящее из t^2 элементов, разбивается на такие t подмножества $A_1=(a_1, a_2, \dots, a_t)$, $A_2=(a_{t+1}, a_{t+2}, \dots, a_{2t}), \dots,$ $A_t=(a_{t^2-t+1}, a_{t^2-t+2}, \dots, a_{t^2})$; $A=A_1 \sqcup A_2 \sqcup \dots \sqcup A_t$ ($\sqcup$ – разделенное объединение /7/), чтобы кардинальное число любого $A_j \subset A$ равнялось t. При таком разбиении каждое подмножество A_j будет соответствовать отдельному блоку конфигурации (I). Таким образом, получается совокупность t блоков. Для получения остальных t^2 блоков элементы каждого подмножества A_j записываются в виде упорядоченной последовательности, например, по возрастанию индекса i элементов a_i, любому из которых сопоставляется одно определенное число из последовательности $p=1, 2, \dots, t$;

$$\begin{array}{ccccccccc} A_1=(a_1, & a_2, & \dots, a_t), & A_2=(a_{t+1}, & a_{t+2}, & \dots, a_{2t}), & \dots, & A_t=(a_{t^2-t+1}, & a_{t^2-t+2}, \dots, a_{t^2}) \\ \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow & & \updownarrow & \updownarrow \quad \updownarrow \\ 1, & 2, & \dots, t & 1, & 2, & \dots, t, & \dots, & 1, & 2, \dots, t \end{array} \qquad (2)$$

$\updownarrow$ – знак соответствия. Числа $1, 2, \dots, t$, соответствующие последовательности A_1, называем элементами группы I, A_2 – элементами группы II, ..., A_t – элементами группы T. Из элементов этих групп составляем такие блоки с t элементами, чтобы на j-тых местах стояли элементы группы j. Учитывая это обстоятельство, строим следующие t блоки с t элементами:

$$(1\ 1 \cdots 1),\ (2\ 2 \cdots 2), \dots, (t\ t \cdots t). \qquad (3)$$

Таким образом, получаем всего $2t$ блоков. Для получения остальных t^2-t блоков составляем определенные комбинации $B_1=(1\ 2 \cdots t)$, $\bar{B}_1=(t\ t-1 \cdots 2\ 1)$, $B_2=(1\ 3\ 5 \cdots t-3\ t-1)$, $\bar{B}_2=(t-1\ t-3 \cdots 5\ 3\ 1), \dots, B_\nu, \bar{B}_\nu$.

Блок B_ν получается из $B_{\nu-1}$, если запишем подряд все элементы B_ν, между элементами которых интервал (т.е. количество элементов, находящихся между двумя элементами) равен единице. Интервал между двумя элементами a_i и a_j определяется так: если $i<j$, то $J=j-i-1$.

Итак, получаем блоки $B_1, B_2, \dots, B_\nu$ и в обратном порядке записанные блоки $\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_\nu$ (ν зависит от t и определяется так: $\nu=\frac{t^2-t}{2t}=\frac{1}{2}(t-1)$). Добавляя к ним блоки, полученные с помощью циклических перестановок их элементов, получим всего $2\nu(t-1)=\frac{1}{2}(t-1)^2$ блоков. Заменив в них, как и в блоках (3), элементы соответствующими им элементами по схеме (2) и присоединив к ним блоки $A_1, A_2, \dots, A_t$, получим схему, соответствующую конфигурации (I), что нетрудно показать.

Составленная BIB-схема является аффинно-разрешимой, из которой легко получается новая симметричная блок-схема ($v=b$, $k=r$), т.е. конфигурация

$$(t^2+t+1,\ t^2+t+1,\ t+1,\ t+1,\ 1), \qquad (4)$$

так как при построении конфигурации (I) проводится автоматическое выделение повторений.

BIB-схема называется аффинно-разрешимой, если существует разбиение множества блоков $B = B_1, B_2, \dots, B_\ell$ на такие подмножества $B_1', B_2', \dots, B_\nu'$, $B = B_1' \cup B_2' \cup \dots \cup B_\nu'$, что $\forall B_j'$ состоит точно из t блоков, $\forall a_i$ встречается в каждом B_j' только по одному разу. B_j', $j = \overline{1,\nu}$ называются повторениями или копиями /3/, а перечисленные условия - условиями разрешимости. $\forall B_\nu, B_\mu$: $B_\nu \in B_i'$, $B_\mu \in B_j'$ $(\nu \neq \mu)$ имеют ℓ_1 общих элементов (в нашем случае $\ell_1 = 0$), а $\forall B_\nu, B_\mu$: $B_\nu \in B_i'$, $B_\mu \in B_j'$ $(i \neq j)$ имеют ℓ_2 (в данном случае $\ell_2 = 1$) общих элементов (условия аффинно-разрешимости).

Способ I позволяет составлять больше одной вполне различной блок-схемы, не имеющей ни одного одинакового блока, что со своей стороны гарантирует составление конфигурации типа

$$(t^2,\ \alpha(t^2+t),\ \alpha(t+1),\ t,\ \alpha),\ \alpha = 1,2,\dots,p \le t \quad (5)$$

Таким образом, предложенный способ дает возможность построить конфигурации типа (I), (2) и (3), где t - любое простое число или же $t = 4$, хотя в последнем случае правило построения некоторых блоков частично изменено. Когда $t = 3$, 4,5, мы предлагаем второй способ, который также дает возможность составить конфигурации указанных типов.

Способ 2. Для построения блоков конфигурации

$$(9, 12, 4, 3, 1), \quad (6)$$

$$(16, 20, 5, 4, 1), \quad (7)$$

$$(25, 30, 6, 5, 1) \quad (8)$$

составим квадратичные матрицы из $v = t^2 = 9$, 16 и 25 элементов $A_1 = [a_{ik}]$, $i,k = \overline{1,3}$, $A_2 = [a_{ik}]$, $i,k = \overline{1,4}$, $A_3 = [a_{ik}]$, $i,k = \overline{1,5}$.

Если предположим, что множество элементов столбца матрицы A_j составляет один блок, то множество ее столбцов можно считать совокупностью блоков B_i' (через B_i' обозначаются повторения).

Рассматривая вместо столбцов строки матрицы A_j, получим повторение B_2'. Для составления остальных совокупностей повторения проведем в матрице A_j $(j = 1, 2, 3)$ две диагональные прямые $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$ (т.е. прямые, проходящие через диагональные элементы), соединим симметричные элементы относительно $\mathcal{L}_2$ прямыми, параллельными прямой $\mathcal{L}_1$, а на угловых элементах проведем прямые, параллельные $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$ соответственно, так, чтобы на крайних прямых находилось только по одному элементу.

Введем определение: две прямые ℓ_i и ℓ_j назовем блочными относительно диагональной прямой $\mathcal{L}_\nu$, если они находятся на ее разных сторонах, являются ее параллельными прямыми и если число элементов $a_i \in A_j$, находящихся на обеих прямых, равняется числу диагональных элементов и во множество таких элементов входит не более одного диагонального элемента.

Если допустим, что множество элементов, находящихся как на диагональных, так и на блочных прямых, составляет по одному блоку, то множества блочных прямых относительно диагональных прямых $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$ и сами диагональные прямые, в зависимости от значения t^2, дадут возможность составить все блоки или одной совокупности B_3', или же двух совокупностей B_3' и B_4'. Например, для $t^2 = 9$ и $t^2 = 25$ получается по две совокупности, а для $t^2 = 16$ - одна совокупность (повторение) B_3'.

Легко показать, что последовательность этих повторений

$$B' = B_1', \; B_2' . B_3', B_4' \qquad (9)$$

дает конфигурацию (6).

Что касается конфигурации (8), то последовательность B' для нее не гарантирует наличия всевозможных пар $t^2=25$ элементов, так как B_3' и B_4' не исчерпывают всевозможных пар элементов разных столбцов и строк. Кроме того, в последовательности (9) $r \neq 6$ $(r=4)$. Поэтому задача сводится к тому, чтобы к последовательности B' добавить такие два повторения, которые вместе с B_1', B_2', B_3' и B_4' дадут уже возможные пары элементов.

Для нахождения элементов каждого блока этих повторений используется простой алгоритм, согласно которому, начиная с центрального и угловых элементов матрицы, с помощью Г - образного движения как по, так и против часовой стрелки (что соответствует ходу коня на шахматной доске) определяем элементы блоков двух повторений - B_5' и B_6'. Нетрудно показать, что после добавления этих повторений получается конфигурация типа (8). В случае $t^2=16$ повторение B_3' будет состоять из элементов, находящихся на обеих диагоналах $\mathcal{L}_1$ и $\mathcal{L}_2$ и на блочных прямых относительно этих диагоналей. Что касается совокупностей блоков неблочных прямых, то их составляем опять с помощью Г - образного движения, но начиная только от угловых членов матрицы A_2.

Заметим теперь, что в последовательности (9) для составления совокупностей блоков B_3' и B_4' можно использовать и такое простое правило: вычислим детерминат матрицы A_2, каждый член которого можем сопоставить отдельному блоку конфигурации (6). А если сгруппируем положительные и отрицательные члены в отдельности, то получим совокупность блоков B_3' и B_4' соответственно.

Матрицы A_1, A_2 и A_3 можно изменить с помощью перестановок элементов таким образом, чтобы получить вполне различные конфигурации (6)-(8), которые дают возможность составить следующие новые конфигурации: (9, I2 α, 4 α, 3, α), (I6, 20 α, 5 α, 4, α), (25, 30 α, 6 α, 4, α).

Рассмотрим теперь способы составления некоторых блок-схем, которые связаны с круговыми распределениями элементов конфигурации.

Рассмотрим симметричную блок-схему (v, k, λ) с параметрами $v=b=11$, $r=k=5$, $\lambda=2$, т.е. конфигурацию

(II, II, 5, 5, 2).

Для ее построения предлагаем следующий способ.

Способ 3. Этот способ заключается в следующем. Произвольный круг делится на $n=11$ секторов и из последовательности $A=a_1, a_2, \ldots, a_{11}$ записываются по пять (так как $k=5$) разных элементов так, чтобы элементы, записанные в отдельные секторы, соответствовали отдельным блокам конфигурации (II) - рис.I.

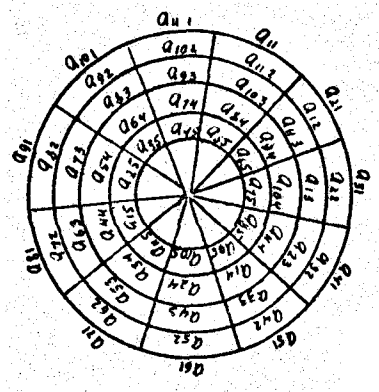


Рис.I.

В связи с этим предлагаем алгоритм записи элементов в секторах, согласно которому последовательность чисел на первой окружности записывается произвольно, а на остальных - уже по определенному правилу и при этом в зависимости от того, в каком секторе второй окружности записан элемент a_1, т.е. какому $a_j \in A$, записанному на первой окружности, приписывается a_1; получаем соответствующую блок-схему, которую обозначим через $B(a_j)$. Оказалось, что множество $\{a_j\}$, $j=\overline{1,11}$ можно разбить на такие подмножества $J_1=\{a_\alpha\}$, $\alpha=2,4,6$;

$J_2=\{a_\beta\}$, $\beta=3,7,8,9,11$; $J_3=\{a_\gamma\}$, $\gamma=5,10$; $J=J_1\cup J_2\cup J_3$, что для любых a_α и a_β получаются блок-схемы $B(a_\alpha)$, $B(a_\beta)$ и $B(a_\gamma)$, которые не имеют ни одного одинакового блока. С помощью этих вполне различных блок-схем составляем новые конфигурации, которые можем записать в одну общую

$$(\mathrm{II},\ \mathrm{II}\nu,\ 5\nu,\ 5,\ 2\nu),\quad \nu=\mathrm{I},2,3. \qquad (\mathrm{I2})$$

Аналогичные результаты получим, если элементы $a_1, a_2, \ldots, a_{11}$ запишем не на окружности, а в строчки. Для записи элемента в каждую j - тую строчку используем то же правило. Таким образом, получим матрицу 5 x II, каждый столбец которой будет соответствовать отдельному блоку B_k конфигурации (I2).

Так же можно составить конфигурации

$$(7,\ 7\nu,\ 4\nu,\ 4,\ 2\nu),\qquad \nu=\mathrm{I},2,$$

но в этом случае элементы записываются на четыре окружности (строчки), а множество $J=\{a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}$ разбивается на $J_1=\{a_\alpha\}$, $\alpha=2,3,5$ и $J_2=\{a_\beta\}$, $\beta=4,6,7$.

Блок-схема с $k=3$, $\lambda=1$ называется системой троек Штейнера, которая по сравнению с другими блок-схемами считается

более разработанной. Было установлено /I/, что системы троек Штейнера представляются либо конфигурацией

$$(v=6t+1,\quad b=6t^2+t,\quad r=3t,\quad k=3,\quad \lambda=1), \qquad (\mathrm{I3})$$

либо

$$(v=6t+3,\quad b=6t^2+5t+1,\quad r=3t+1,\quad k=3,\quad \lambda=1). \qquad (\mathrm{I4})$$

Рассмотрим конфигурации типа (I4), где $t=1,2,\ldots,n$. Для ее построения предлагаем следующий способ.

Способ 4. Представим себе три круга - c_1, c_2 и c_3, вложенных друг в друга (рис.2).

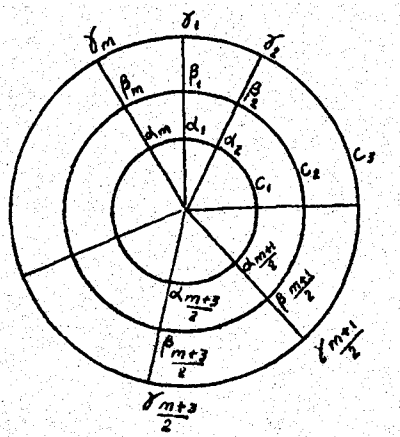


Рис.2.

Очевидно, $v/3$ - нечетное число $2t+1$, обозначим его через m. Окружности этих кругов c_1, c_2 и c_3 разделим на m равных частей и поместим в точках деления элементы $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_m$; $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m$; $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_m$ так, чтобы на каждом радиусе было по три элемента: на первом - $(\alpha_1\ \beta_1\ \gamma_1)$, на втором - $(\alpha_2\ \beta_2\ \gamma_2)$ и т.д. на m -том радиусе - $(\alpha_m\ \beta_m\ \gamma_m)$. Полученные таким способом тройки будут соответство-

вать m блокам конфигурации (I4). Совокупность этих m блоков обозначим через B_0. Для получения остальных $6t^2+5t+1-2t-1=6t^2+3t$ блоков элементы $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_m$ назовем элементами окружности C_1; $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m$ – элементами окружности C_2, а $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_m$ – элементами окружности C_3 и введем следующее правило: к элементу окружности C_1, находящемуся на первом радиусе, т.е. к α_1, присоединим по очереди по два элемента окружности C_2, находящихся на втором и m-ом радиусах, далее на третьем и $(m-1)$-ом радиусах и т.д., на $\frac{1}{2}(m+1)$ и $\frac{1}{2}(m+3)$ радиусах. Таким образом, получим тройки $(\alpha_1\ \beta_2\ \beta_m)$, $(\alpha_1\ \beta_3\ \beta_{m-1})$, $\ldots$, $(\alpha_1\ \beta_{\frac{1}{2}(m+1)}\ \beta_{\frac{1}{2}(m+3)})$.
Так получаются t блоков конфигурации (I4). Аналогично, рассматривая элементы β_1, γ_1 окружностей C_2 и C_3 и присоединяя к ним находящиеся на окружности C_3 и C_1 соответствующие элементы, получим еще $2t$ блоков.

Таким образом, мы произвели "разложение" элементов относительно первого радиуса $\alpha_1\ \beta_1\ \gamma_1$ и таким способом получили $3t$ блоков. Если произведем такое же "разложение" относительно всех $m=2t+1$ радиусов, то получим всего $3t(2t+1)$ блоков, которые вместе с блоками совокупности B_0 дадут конфигурацию для любого t. Легко можно показать, что совокупность блоков, полученных способом 4, является конфигурацией (I4).

Этот способ, как и вышеописанные способы, дает возможность получить вполне различные конфигурации с одинаковыми параметрами. Но, в отличие от них, с помощью способа 4 можно получить большое количество различных блок-схем. В самом деле, с помощью перестановки элементов между окружностями и поворотами этих окружностей для каждого v легко получить $\frac{2}{3}v+1$ различных конфигураций.

В заключение предлагаем способ проверки конфигурации (v, b, r, k, λ). Рассмотрим конфигурацию из элементов $a_1, a_2, \ldots, a_v = A$. Пусть в ней $k=4$ и ее первый блок имеет вид $(a_i\ a_j\ a_\tau\ a_s)$. Составим таблицу I. Последовательность элементов $(a_1, a_2, \ldots, a_v)$ запишем в первую строчку и в первый столбец так, чтобы любому $a_\nu \in A$ соответствовала как ν-тая строка, так и ν-тый столбец.

	a_1	a_2	…	a_i	a_j	…	a_τ	a_s	…	a_v
a_1										
a_2										
⋮										
a_i				1	1		1	1		
a_j					1		1	1		
⋮										
a_τ							1	1		
a_s								1		
⋮										
a_v										

Таблица I.

Рассмотрим вначале i-тую строку таблицы I, т.е. строку, соответствующую первому элементу первого блока, и запишем единицы в квадраты, находящиеся на пересечениях этой строки со столбцами, соответствующими всем элементам данного блока. Затем рассмотрим строку, соответствующую второму элементу, и единицы запишем уже в квадраты, соответствующие пересечению j-той строки со столбцами, соответствующими всем элементам блока, кроме первого (т.е. a_j, a_τ, a_s). Процесс записи единиц в квадраты продолжается таким образом и, наконец, рассматривается последний элемент данного блока и единица записывается в квадрат пересечения строки и столбца, соответствующих последнему элементу блока, т.е. a_s. Аналогично исследуются все блоки проверяемой блок-схемы.

Если блок-схема составлена правильно, то в каждый диагональный квадрат будут записаны r единиц, а во все квадраты, находящиеся выше диагональных квадратов, по λ единиц. В самом деле, записанные в диагональные квадраты единицы показывают, сколько раз встречается каждый элемент в блок-схеме, а записанные вне диагональных квадратов единицы - сколько раз встречается любая пара элементов.

Если при рассматривании любого элемента a_j данного блока единицы будут записываться во все квадраты, находящиеся на пересечениях строки, соответствующей элементу a_j, и столбцов, соответствующих всем элементам данного блока, то вместо таблицы I можем рассматривать матрицу, в качестве диагональных элементов которой будет записано r, а в качестве остальных членов λ. Эта матрица является основным соотношением матрицы инцидентности блок-схемы /I/.

Предложенный способ проверки блок-схемы дает возможность, с одной стороны, установить, правильно или нет составлена блок-схема, а с другой - при наличии механических ошибок обнаружить их и указать неправильно составленные блоки.

Литература

I. М.Холл. Прикладная комбинаторная математика."Мир",М.,I968.

2. Liu C.L. Introduction to combinatorial mathematics, 1970.

3. С.А.Широкова. Успехи математических наук,т.XXШ,вып.5,I968.

4. Dey A. On construction of balanced n-ary block designs. Annals of statistical Mathematics, 22, N2, 1970.

5. Г.Дж.Райзер. Комбинаторная математика. "Мир", М., I966.

6. К.А.Рыбников. Введение в комбинаторный анализ, МГУ,I972.

7. Г.Биркгоф,Т.Барти.Современная прикладная алгебра."Мир",М., I976.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНКРЕТНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Киквидзе З.А., Ткемаладзе Н.Т.

Рассмотрим конкретную интеллектуальную систему (ИС). Под конкретной ИС будем подразумевать группу научных сотрудников (специалистов), решающих определенные задачи. Когда один человек не в силах решить задачу, он обращается за помощью к другому. Два человека уже группа - конкретная интеллектуальная система, которая состоит из двух разных управляющих центров (мозгов). Их объединяет общая цель.

Таким образом, в момент исполнения работы у каждого члена группы могут быть разные намерения, а цель - одна. Нас интересует такая группа - интеллектуальная система, которая сможет эффективнее решить поставленную перед ней задачу. Существуют такие задачи, которые могут быть эффективнее решены скорее коллективом людей, чем отдельным индивидуумом, но это только в том случае, если группа -интеллектуальная система составлена правильно.

Есть такие специалисты, которые в зависимости от участников группы по-разному проявляют свои способности. Как составить группу людей, способных повысить эффективность при совместной работе, и оценить качества функционирования конкретной ИС?

Данная работа является попыткой решения этого вопроса. Создание концепта интеллектуальной системы такая же задача, как создание концепта ученого, например, по схеме /I/. Но практически выбрать ученого гораздо легче, чем создать такую группу. Здесь уже целая сеть взаимоотношений. И эта сеть уникальна в каждом случае. Различные комбинации неличностных

ролей развиваются из взаимоотношений отдельных личностей /2/. Поэтому нас будет интересовать концепт ученого (специалиста) не в отдельности, а в роли члена ИС, что даст возможность установить, какими признаками должны обладать участники самой эффективной группы, т.е. группы самым эффективным образом решающей поставленную перед ней задачу. Часть признаков, характеризующих участников группы, признана обществом положительной, часть отрицательной, но как сочетаются признаки разных участников группы, какими признаками должны обладать они для совместной работы, в каком сочетании участников получается эффективное решение задачи? Для того чтобы ответить на этот последний вопрос, рассмотрим пример.

Пусть имеется 2I специалист, требуется составить ИС из пяти членов. Рассмотреть все сочетания - значит рассмотреть C_{21}^{5} = I9329 групп, что практически считается неосуществимым. Поэтому для составления ИС мы предлагаем использовать так называемые BIB схемы - уравновешенные неполные блок-схемы /3/. Это такое размещение v различных элементов множества $S = \{a_1, a_2, \dots, a_v\}$ по блокам b_i, что

I) каждый блок b_i содержит точно k разных элементов,

2) каждый элемент появляется точно в r различных блоках и

3) каждая неупорядоченная пара различных элементов a_i, a_j появляется точно в λ блоках.

Блок-схема - это не просто совокупность подмножеств b_i некоторого множества S, а определенная конфигурация из элементов и блоков с отношением инцидентности, указывающим на принадлежность элемента к тому или иному блоку. Ее называют также конфигурацией типа (v, b, r, k, λ).

Составленная таким образом схема удовлетворяет двум условиям:

I) из множества S можно получить b подмножеств с одинаковыми кардинальными числами k;

2) любые элементы, а также неупорядоченные пары из множества S считаются "равноправными" в том смысле, что встречаются в ней определенное число r и λ раз соответственно.

Эти условия дают возможность из v специалистов составить такие интеллектуальные системы с k элементами, которые позволяют любому человеку работать совместно с любым членом множества v определенное число (λ) раз в разных ситуациях, т.е. в разных группах из k элементов. И при этом намного уменьшить число групп по сравнению с числом C_v^k.

В самом деле, для вышерассмотренного примера $v = 21$ и $k = 5$, если число сочетаний, т.е. групп, равняется I9329, с использованием конфигурации (2I, 2I, 5, 5, I), как видим, это число уменьшается до 2I блока.

Подразумевая теперь под подмножествами интеллектуальные системы, поставим задачу: в каких конфигурациях, с какими параметрами k, какое подмножество - группу специалистов (какие блоки) можно считать эффективной. Затем установим, какими признаками должны характеризоваться участники группы для совместной эффективной работы. Например, если имеется $v = 21$ специалист, то, кроме вышеуказанной, можно исследовать и такие конфигурации:

(2I, 30, I0, 7, 3); (2I, 42, I2, 6, 3); (2I, 35, I5, 9, 6),

с помощью которых можно получить разные группы, с разным ко-

личеством участников, в зависимости от конфигурации. Интеллектуальные системы, созданные с помощью этих конфигураций, отличаются от вышерассмотренной тем, что в подмножествах первых двух конфигураций любая пара встречается по три раза, а в последней конфигурации по шесть раз. Таким образом, любому участнику дается возможность работать совместно с любым человеком, с разными участниками и с разным количеством участников и проявить свои возможности в разных группах, так что любой участник принимает участие в r группах.

Для решения вышепоставленного вопроса необходимо составить подлежащие решению задачи для групп, соответствующих блокам выбранной конфигурации типа (v, b, r, k, λ). Число этих задач определяется в зависимости от количества блоков, если блок-схема не является аффинно-разрешимой. В противном случае это число соответствует числу повторений /4/.

Блок-схема называется аффинно-разрешимой, если ее можно разделить на повторения, т.е. на группы с одинаковым числом блоков, так, чтобы каждая группа содержала все элементы. В самом деле, блоки одного и того же повторения не пересекаются, а это означает, что любой человек для решения одной задачи принимает участие только в одной ИС, соответствующей одному блоку этого повторения. Это дает возможность всем группам, соответствующим блокам одного и того же повторения, дать для решения одну и ту же задачу, что со своей стороны позволяет всем членам группы, соответствующим множеству S и входящим в одно повторение, дать для решения одинаковые задачи и, тем самым, сократить число задач до числа повторений.

Таким образом, вопрос сводится к тому, чтобы сопоставить специальные задачи и предоставить их участникам ИС для решения.

Естественно, в зависимости от того, из каких специалистов хотим составить ИС, задачи должны быть подобраны соответствующим образом. Например, для некоторых групп целесообразно составить задачи по распознаванию образов и в качестве критерия эффективности работы ИС использовать число правильно распознанных объектов в течение определенного времени. Для других групп - психологические задачи, математические задачи и т.п.

После определения эффективности работы ИС возникает задача определения эффективности работы конкретной группы, для решения которой необходимо установить, какими свойствами (признаками) обладают специалисты, входящие в нее.

Литература

I. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, 84, № I, I976.

2. Шибутани Т. Социальная психология. "Наука", М,. I969.

3. Холл М. Прикладная комбинаторная математика. "Мир", М., I968.

4. С.А.Широкова. Успехи математических наук, т.XШ, вып.5, (I43), I968.

К ВОПРОСУ КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ

Мачавариани Г.А., Цулая Р.П., Чихладзе Т.М.

Построение интегральных роботов включает в себя весьма разнообразные задачи, среди которых операция перемещения в пространстве схвата манипулятора играет важную роль. Функциональный уровень, на котором осуществляется управление движением схвата, определяет как структурную особенность, так и сложность системы управления. В большинстве случаев основу системы управления манипулятором составляет вычислительная машина, с помощью которой осуществляется реализация тех или иных команд, входящих в состав избранного алгоритма /I,2/.

В настоящей работе описывается модель системы "глаз - рука", в которой рассматривается вопрос перемещения схвата манипулятора в пространстве. Принцип работы, положенный в основу этой системы, может быть использован как составная часть алгоритма управления в задачах координации движения в пространстве интегральных роботов.

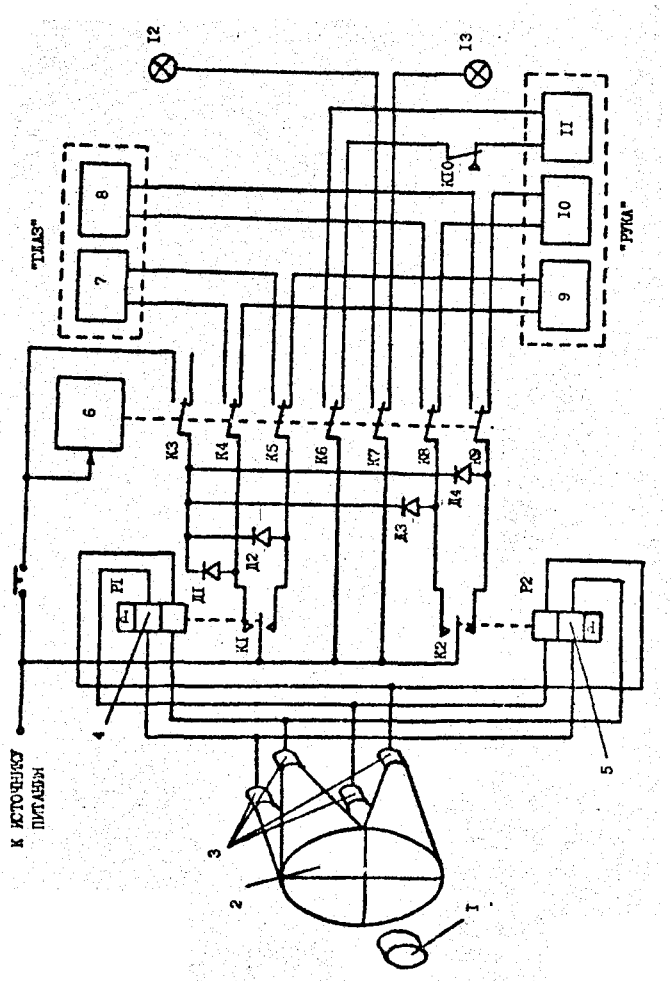
В рассматриваемой модели процесс координации движения схвата манипулятора в пространстве включает в себя как движение органа восприятия - "глаза", так и движение манипулятора - "руки".

Система движения "глаза" представляет собой замкнутую автоматическую систему с обратной связью, содержащую исполнительные механизмы, с помощью которых осуществляется совмещение заданной точки пространства с оптической осью "глаза". Эта точка пространства в рассматриваемой модели задается небольшой светящейся лампой.

Совмещение заданной точки пространства с оптической осью

"глаза" осуществляется следующим образом. Изображение лампы (объекта), получаемое с помощью объектива на входном торце волоконного устройства, анализируется с помощью четырех фоточувствительных элементов, в цепи которых включены обмотки трехпозиционных реле. Волоконное устройство делит проецируемое на его входной торец изображение на четыре сектора и подает весь световой поток каждого сектора на вход отдельного фоточувствительного элемента. В том случае, когда изображение лампы находится в центре входного торца волоконного устройства и световые потоки, падающие на фоточувствительные элементы, одинаковы, контакты реле разомкнуты и находятся в нейтральном положении. Если изображение лампы удалено от центра волоконного устройства, то световые потоки, падающие на фоточувствительные элементы, не одинаковы и на выходах последних возникают сигналы рассогласования, вызывающие включение соответствующих контактов реле.

Функциональная схема модели системы "глаз-рука" приведена на рисунке. Здесь I - объектив; 2 - волоконное устройство; 3 - фоточувствительные элементы; 4 и 5 - трехпозиционные поляризованные реле P_I и P_2 с контактами K_I и K_2; 6 - переключающий блок, реализованный с помощью электромеханического реле, с контактами $K_3 \div K_9$; 7 и 8 - двигатели, осуществляющие поворот "глаза" соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; 9 и I0 - двигатели, осуществляющие поворот "руки" соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; II - двигатель, осуществляющий телескопическое удлинение и укорачивание "руки"; I2 - лампа (объект), задающая точку в пространстве; I3 - лампа, задающая местоположение схвата манипулятора.



Команда на начало процесса наведения "глаза" осуществляется подачей импульса напряжения на блок 6 кнопкой. При этом контакты $К_3 \div К_9$ в схеме занимают верхнее положение. В дальнейшем они удерживаются в этом положении за счет напряжения, поступающего на блок 6 через диоды $Д_I \div Д_4$ от неподвижных контактов $К_I$ и $К_2$, так как в процессе наведения на одном из них всегда имеется напряжение. Контакты $К_I$ реле $Р_I$ управляют двигателем 7, осуществляя поворот "глаза" влево или вправо в зависимости от положения переключающего контакта; аналогично, контакты $К_2$ реле $Р_2$ управляют двигателем 8, осуществляя поворот "глаза" вверх или вниз. Процесс наведения "глаза" будет закончен, когда световые потоки, падающие на фоточувствительные элементы, станут одинаковыми и контакты $К_I$ и $К_2$ займут нейтральное положение. При этом прекратится подача напряжения на блок 6 и контакты $К_3 \div К_9$ займут нижнее по схеме положение, погаснет лампа I2 и зажжется лампа I3, установленная на манипуляторе в точке крепления схвата.

Поскольку изображение лампы I3 не находится на оптической оси "глаза", в цепи фоточувствительных элементов возникает сигнал рассогласования, вызывающий замыкание соответствующих контактов $К_I$ и $К_2$. Этим начинается повторение процесса наведения "глаза", т.е. совмещение оптической оси "глаза" с лампой I3, однако это совмещение осуществляется уже за счет движений "руки". Функциональная роль контактов $К_I$ и $К_2$ остается прежней, так как с помощью переключающего блока 6 к этим контактам подключены исполнительные электродвигатели "руки" 9 и I0.

Одновременно с началом движения манипулятора начинается его телескопическое удлинение, осуществляющееся вращением

электродвигателя II (во время наведения "глаза" электродвигатель II вращается в обратную сторону и автоматически останавливается, когда длина манипулятора минимальна). Удлинение манипулятора прекращается, когда последний коснется заданной точки - лампы I2, так как при этом размыкается контакт K_{10}. Электродвигатель II дает более медленное перемещение, чем электродвигатели 9 и I0, поэтому введение схвата на оптическую ось органа зрения происходит раньше, чем манипулятор достигнет заданной точки. По мере удлинения осуществляется коррекция направления манипулятора с помощью двигателей 9 и I0. В момент соприкосновения схвата с объектом движение манипулятора прекращается, в результате чего цикл процесса координации заканчивается.

Описание модели в настоящей работе приведено в достаточной мере кратко, так как авторы преследовали цель остановиться подробнее не на самой модели, а скорее на принципе координации движения в системе "глаз-рука".

Этот принцип обладает рядом достоинств, среди которых, в первую очередь, необходимо отметить независимость взаимного расположения органа зрения и манипулятора. Это позволяет, в зависимости от задачи, произвольно менять их взаимное расположение. Так, например, орган зрения может быть удален от предмета для обеспечения большего поля зрения и приближен к предмету для обеспечения большей точности координации.

Другим достоинством описываемого принципа является общность между операциями координации органа зрения и манипулятора. Благодаря этой общности обе операции осуществляются одними и теми же элементами системы (не считая исполнительных двигателей), что исключает необходимость преобразования

сигналов, получаемых от органов зрения, в форму, пригодную для управления движением манипулятора. Кроме того, оно позволяет при невысоких требованиях к используемым элементам, таких, как, например, низкая точность изготовления волоконного устройства или разброс параметров фоточувствительных элементов, получить высокую точность координации.

Литература

I. Интегральные роботы. Сборник статей. М., 1973.
2. Интегральные роботы. Сборник статей. Выпуск 2, М., 1975.

ПОЛНАЯ СИСТЕМА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФОРМУЛ ИСЧИСЛЕНИЯ ПРЕДИКАТОВ И ТЕОРИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Микеладзе Л.Л.

Язык исчисления предикатов является основным языком представления информации в системах искусственного интеллекта. Для преобразования информации, представленной на языке исчисления предикатов, необходимы как импликативные операторы, дающие логические следствия операндов, так и эквивалентностные операторы, дающие логические эквиваленты операндов. В то время как в математической логике основательно изучено отношение логического следования и имеются полные дедуктивные системы как теоретического, так и прикладного значения, эквивалентным преобразованиям уделялось сравнительно мало внимания. Имеются частичные системы эквивалентных преобразований, предназначенные для придания формуле той или иной специальной формы; практически все они собраны в процедуре Девиса-Путнама /I/. Несмотря на всю их важность, они не составляют полную систему.

Специалисты по искусственному интеллекту приходят к выводу, что для эффективной обработки информации недостаточно применения одной только чистой логики, необходимо учитывать семантику обрабатываемой информации, т.е. использовать нелогические знания. Существенную часть нелогических знаний составляют теоретические знания (другую часть - случайные факты). Но для машинного представления знаний необходима предварительная формализация, а теоретические знания формализуются в виде теорий первого порядка (пп) /2/. Теории первого порядка - это дедуктивные системы, а для эффективной обработки информации необходимы, помимо импликативных, еще и эквивалентные преобразования. Здесь мы не касаемся теоретической ценности построения полной системы эквивалентностей для теорий первого порядка, ведущего к алгебраизации этих теорий. Если для исчисления предикатов имеются хоть частичные системы эквивалентностей, то для теорий вопрос вовсе не изучен.

В настоящей работе предлагается конструктивный метод построения полной системы эквивалентных преобразований формул теорий первого порядка (теоремы I и 2).

Для классического исчисления предикатов первого порядка построены две конкретные полные системы эквивалентностей $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$.

Формулы $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ некоторой теории называются эквивалентными, если значения этих формул совпадают во всякой интерпретации. Эквивалентность формул $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ обозначается через $\mathcal{A} \equiv \mathcal{B}$.

Система $\mathcal{E}$ эквивалентностей некоторой теории T называется полной для T, если всякая истинная в T эквивалентность выводима из $\mathcal{E}$ с помощью следующих правил:

I. Рефлексивность, симметричность и транзитивность эквивалентности.

2. Замена эквивалентностей: если выведена $\mathcal{A} \equiv \mathcal{B}$, то можно подставлять $\mathcal{A}$ вместо любого вхождения $\mathcal{B}$ в выводимую эквивалентность.

Линдон доказал /3/, что для любого исчисления высказываний, имеющего правило модус поненс в качестве единственного правила вывода, можно построить полную систему эквивалентных преобразований. Мы распространяем этот результат Линдона на теории п.п., имеющие в качестве правил вывода правило модус поненс и правило обобщения.

Пусть T - теория п.п., содержащая среди исходных или определимых символов - $\supset$ (символ импликации), $\forall$ (квантор

общности) и t (символ истины); пусть $A_1, A_2, \dots, A_n$ - полная система аксиом, а модус поненс и правило обобщения - правила вывода для T. Предположим, что в T имеют силу эквивалентности:

$$A \supset A \equiv t \qquad (1)$$

$$t \supset A \equiv A \qquad (2)$$

$$(A \supset B) \supset B \equiv (B \supset A) \supset A \qquad (3)$$

$$\forall_a t \equiv t \qquad (4)$$

(Заметим, что это предположение выполнено для любой формулировки классической теории).

Обозначим через $\mathcal{E}(T)$ систему эквивалентностей, содержащую (1), (2), (3), (4), а также $A_1 \equiv t, \dots, A_n \equiv t$ ($A_1, \dots, A_n$ - аксиомы теории T).

Теорема 1. Если в $T \vdash A$, то из $\mathcal{E}(T)$ выводима эквивалентность $A \equiv t$.

Доказательство. Пусть $B_1, \dots, B_m$ - доказательство A в T. Теорему докажем индукцией по этому доказательству.

Если B_i - аксиома T, то $B_i \equiv t$ содержится в $\mathcal{E}(T)$.

Пусть B_i получается по модус поненс из B_ℓ и B_k ($\ell < i$ и $k < i$) и B_k имеет вид $B_\ell \supset B_i$; тогда, по предположению индукции, $B_\ell \equiv t$ и $B_k \equiv t$ выводимы из $\mathcal{E}(T)$; из них подстановкой получаем $t \supset B_i \equiv t$, откуда, согласно (2), имеем $B_i \equiv t$.

Пусть, наконец, B_i получается из B_j $(j<i)$ по правилу обобщения. Тогда $B_i = \forall_a B_j$ и $B_j \equiv t$ по предположению индукции. $B_i \equiv t$ получается из (4) заменой первого вхождения t на B_j.

Теорема доказана.

Теорема 2.

$\mathcal{E}(T)$ является полной системой эквивалентных преобразований для T.

Доказательство.

Пусть $A \equiv B$; тогда $A \supset B$ и $B \supset A$ истинны в T. Вследствие полноты T, $\vdash A \supset B$ и $\vdash B \supset A$. По теореме 1, $A \supset B \equiv t$ и $B \supset A \equiv t$ выводимы из $\mathcal{E}(T)$. Заменяя в (3) $A \supset B$ и $B \supset A$ на t, получим $t \supset A \equiv t \supset B$ и, согласно (2), $A \equiv B$.

Теорема доказана.

Теоремы 1 и 2 дают нам общую процедуру, следуя которой можно получить конкретную полную систему эквивалентностей, выбрав определенную полную аксиоматику. Очевидно, это относится и к логике, лежащей в основе теории. Взяв в качестве аксиоматики систему F' Черча /4/, получим полную систему эквивалентностей для классического исчисления предикатов первого порядка, которую мы обозначим через $\mathcal{E}_1$; кроме (1)-(4), $\mathcal{E}_1$ содержит следующие эквивалентности:

$$A \supset (B \supset A) \equiv t$$

$$(A \supset (B \supset C)) \supset ((A \supset B) \supset (A \supset C)) \equiv t$$

$$(\neg A \supset \neg B) \supset (B \supset A) \equiv t$$

$$\forall_a (A \supset B) \supset (A \supset \forall_a B) \equiv t,$$

где a - произвольная индивидная переменная, не являющаяся свободной в A.

$$\forall_a (A(a)) \supset A(b) \equiv t,$$

где a - индивидная переменная, b - индивидная переменная или индивидная константа, являющаяся свободной для a в A.

Система $\mathcal{E}_1$ не очень удобна для преобразования формул. В этом смысле предпочтительнее система $\mathcal{E}_2$, состоящая из хорошо известных и часто применяемых эквивалентностей; исклю-

чением является лишь последняя в системе эквивалентность, добавление которой и обеспечивает полноту.

Система эквивалентностей $\mathcal{E}_2$

Предполагается, что $\mathcal{D}$ не содержит a свободно.

$$A \supset B \equiv \neg A \vee B$$
$$\neg\neg A \equiv A$$

$A \& A \equiv A$	$A \vee A \equiv A$
$A \& (B \& C) \equiv (A \& B) \& C$	$A \vee (B \vee C) \equiv (A \vee B) \vee C$
$A \& B \equiv B \& A$	$A \vee B \equiv B \vee A$
$A \& (B \vee C) \equiv A \& B \vee A \& C$	$A \vee (B \& C) \equiv (A \vee B) \& (A \vee C)$
$\neg (A \& B) \equiv \neg A \vee \neg B$	$\neg (A \vee B) \equiv \neg A \& \neg B$
$A \& \neg A \equiv f$	$A \vee \neg A \equiv t$
$A \& t \equiv A$	$A \vee f \equiv A$
$A \& f \equiv f$	$A \vee t \equiv t$
$\forall a (A \& B) \equiv \forall a A \& \forall a B$	$\exists a (A \vee B) \equiv \exists a A \vee \exists a B$
$\forall a (\mathcal{D} \vee B) \equiv \mathcal{D} \vee \forall a B$	$\exists a (\mathcal{D} \& B) \equiv \mathcal{D} \& \exists a B$
$\forall a \mathcal{D} \equiv \mathcal{D}$	$\exists a \mathcal{D} \equiv \mathcal{D}$
$\neg \forall a A \equiv \exists a \neg A$	$\neg \exists a A \equiv \forall a \neg A$
$\forall a \forall b A \equiv \forall b \forall a A$	$\exists a \exists b A \equiv \exists b \exists a A$

$$\forall a A(a) \supset A(b) \equiv t$$

(b свободна для a в A)

Теорема 3.

$\mathcal{E}_2$ является полной системой эквивалентных преобразований формул классического исчисления предикатов первого порядка.

Доказательство состоит в выводе каждой эквивалентности системы $\mathcal{E}_1$ из системы $\mathcal{E}_2$. Ввиду элементарности этих выводов, приводим в качестве примера только один из них - вывод эквивалентности $\forall a (\mathcal{D} \supset B) \supset (\mathcal{D} \supset \forall a B) \equiv t$:

$$\forall a (\mathcal{D} \supset B) \supset (\mathcal{D} \supset \forall a B) \equiv$$
$$\equiv \neg \forall a (\neg \mathcal{D} \vee B) \vee \neg \mathcal{D} \vee \forall a B \equiv$$
$$\equiv \neg (\neg \mathcal{D} \vee \forall a B) \vee \neg \mathcal{D} \vee \forall a B \equiv$$
$$\equiv \mathcal{D} \& \neg \forall a B \vee \neg \mathcal{D} \vee \forall a B \equiv$$
$$\equiv (\mathcal{D} \vee \neg \mathcal{D} \vee \forall a B) \& (\neg \forall a B \vee \neg \mathcal{D} \vee \forall a B) \equiv$$
$$\equiv t \& t \equiv t.$$

Литература

1. Н.Нильсон. Искусственный интеллект. "Мир", М., 1973.
2. Дж.Шенфилд. Математическая логика. "Наука", М.,1975.
3. Р.К.Линдон. Тождества в двузначных исчислениях. Кибернетический сборник I. ИЛ, М., 1960.
4. А.Черч. Введение в математическую логику,т.I. М., 1960.

ВЗВЕШИВАНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ НА МНОЖЕСТВАХ ПРИЗНАКОВ И ЭКСПЕРТОВ

Ткемаладзе Н.Т., Киквидзе З.А., Авазашвили Э.Н.

Пусть $[Q_i, \omega]$ – конечное упорядоченное множество, где $Q_i = \{q_j\}$, $j = \overline{1,n}$ – множество признаков, характеризующих объекты какого-нибудь класса (образа) S_i, а ω – отношение порядка типа $\succ$, или $\succsim$, или $\sim$ на множестве Q_i.

Предположим, что признаки упорядочены (ранжированы) по убыванию их предпочтительности. Порядковый номер признака обозначим через k, тогда символ q_j^k означает, что признак q_j стоит на k – том месте в упорядоченной последовательности. В зависимости от того, с помощью какого способа произведено упорядочение указанных признаков для каждого признака, можем иметь характерные для него числа, т.е. значения функций, отображающих множество признаков Q_i в множестве чисел R_1.

Предположим теперь, что каждая из этих функций является результатом агрегирования индивидуальных предпочтений в единое предпочтение. Каждый ν – тый индивидуум упорядочивает Q_i по своему усмотрению и получает последовательность Π_ν.

Правило составления Π_ν следующее:

$$(q_j, q_k : q_j \in Q_i,\ q_k \in Q_i) \Longrightarrow (q_j \succ q_k) \vee (q_j \succsim q_k) \vee (q_k \succ q_j) \vee$$
$$\vee\ (q_k \succsim q_j) \vee (q_j \sim q_k).$$

В каждой последовательности Π_ν вычисляется отклонение для каждого q_j от первого места следующим образом /I/: каждый знак $\succ$ между признаком, стоящим на первом месте, и признаком q_j расценивается как полный шаг, т.е. I, знак $\succsim$ – как полшага, т.е. 0,5, и, наконец, знак $\sim$ считается нулевым шагом. Суммируя эти шаги, получим отклонение $\tau_{j\nu}$ данного

признака q_j от первого места последовательности Π_ν. Обозначим

$$\tau_j = \frac{1}{M} \sum_{\nu=1}^{M} \tau_{j\nu}, \qquad (I)$$

где $j = \overline{1,n}$, M – число индивидуумов.

В том случае, если ν – тый индивидуум в последовательности Π_ν, в которой будут использованы отношения $\succ$ и $\sim$, сможет поставить коэффициенты, указывающие степень предпочтения между признаками, то в формуле (I) $\tau_{j\nu}$ будут вычисляться так:

$$\tau_{j\nu} = \sum_{k=1}^{t} \alpha_{j\nu}^k \tau_{j\nu}^k,$$

где $\tau_{j\nu}^k = 1$ или 0,5; $\alpha_{j\nu}$ – коэффициент перед k – тым членом в последовательности Π_ν, а t – число необходимых перестановок до первого члена последовательности.

По возрастанию τ_j можно составить одну упорядоченную последовательность признаков.

Таким образом, в этом случае отображающей функцией множества признаков Q_i в множество чисел является τ_j, с помощью которой, в результате упорядочения множества Q_i, получим последовательность $[Q_i, \omega, \tau_j]$.

Рассмотрим теперь другой пример. Пусть отдельные индивидуумы, вместо упорядоченных последовательностей, дают описания класса S_i с помощью неупорядоченных множеств признаков – $\{q_j\}_\nu \subset Q_i$, где ν – номер индивидуума (описания). В этом случае в работе /2/ введены две характеристики:

I. $\alpha_j = \alpha_j' - 1$,

где α_j' – количество образов (классов), в пересечении которых содержится признак q_j.

2. $\beta_{ji} = \frac{1}{N} \sum_{\nu=1}^{N} (n_{\nu ji} - 1)$,

где $n_{\nu j i}$ – количество признаков i – того образа в ν – том описании, которое содержит признак q_j ; а $\mathcal{N}$ – число таких описаний. Тут же производится переход от пространства пар (α_j , β_{ji}) в кособласть R_1 с помощью функции, называемой "длиной" признака q_j

$$\rho_{ji} = \sqrt{\beta_{ji}^2 + \lambda \alpha_j^2} \; ; \qquad (2)$$

λ находится специальным алгоритмом.

Так как i фиксирован, (2) можем переписать так:

$$\rho_j = \sqrt{\beta_j^2 + \lambda \alpha_j^2} \, , \quad j = \overline{1,n} \, . \qquad (3)$$

В результате упорядочения Q_i по возрастанию ρ_j получим $[Q_i, \omega, \rho_j]$. Числа r_j , вычисленные по формуле (I), и ρ_j – по формуле (3), для одних и тех же задач, независимо от способа их получения, указывают на порядок предпочтения рассматриваемых признаков, т.е. служат одной и той же цели и при этом чем меньше их значения, тем предпочтительнее соответствующий признак, тем больше его вес. Поэтому, несмотря на их содержательное различие для оценки признаков в числах ими можем пользоваться одинаковым образом.

Существует немало таких способов, которые дают возможность ранжировать признаки данного класса по убыванию значений какой-нибудь числовой функции. Мы привели здесь только две из них.

Допустим, в нашем распоряжении m критериев ранжировки и соответственно им m разных характеристик j – того признака. Обозначим эти характеристики через $\ell_{j\mu}$, где μ –номер способа упорядочения. Не нарушая общности, будем считать, что все $\ell_{j\mu}$, $\mu = \overline{1,m}$ нормированы, и рассмотрим их в качестве компонентов m – мерной вектор функции. Длину этого вектора примем за новую характеристику для упорядочения признаков.

Таким образом, получаем:

$$\forall q_j, q_j \in Q_i : \quad \ell_j = \sqrt{\sum_{\mu=1}^{m} \ell_{j\mu}^2} \, . \qquad (4)$$

Упорядочивая теперь признаки q_j по возрастанию ℓ_j, получаем последовательность $\Pi_0 : [Q_i, \omega, \ell_j]$. Это упорядоченное множество, на котором собираемся произвести взвешивание предпочтительности. Итак, ставим задачу: произвести взвешивание предпочтительности на множестве $[Q_i, \omega, \ell_j]$, т.е. приписать каждому признаку $q_j \in Q_i$ определенный вес. Естественно, что признаку с $min\{\ell_i\} = \ell^1$, $i = \overline{1,n}$ будет соответствовать максимальный вес, а признаку с $max\{\ell_i\} = \ell^n$ –минимальный (в ℓ^k k обозначает порядковый номер признака, стоящего на k-том месте, а индекс, соответствующий признаку, опущен). Должны заметить, что главное не то, какое число возьмем в качестве минимального (максимального) веса, а то, как установить веса остальных признаков последовательности, когда уже определен минимальный (максимальный) вес. Вот здесь уже характерные числа играют огромную роль, так как именно их значения указывают порядок признаков в упорядоченной последовательности.

Так как в качестве веса q_j^n можно брать произвольное положительное число $\varphi(q_j^n)$, предположим, что $\varphi(q_j^n) = min\{\ell_i\} + \ell_0 = \ell^1 + \ell_0$, $\ell_0 > 0$ – произвольное число, которое вводится для исключения нулевого веса последнего признака последовательности Π_0 , так как алгоритм определения ℓ^k не исключает случай $\ell^1 = 0$.

Для определения весов последующих признаков последовательности Π_0 , предлагаем следующий алгоритм.

Пусть имеются два признака q_ν^k и q_μ^{k-1}, между которыми имеет место отношение доминирования, и их характерные числа, определенные по формуле (4). Будем говорить, что $q_\nu \in Q_i$ доминирует над $q_\mu \in Q_i$, если $q_\nu \succ q_\mu$, но ни для какого $q_j \in Q_i$ неверно, что $q_\nu \succ q_j \succ q_\mu$ /3/. Так как $\ell^k - \ell^{k-1}$ показывает (согласно определению), насколько предпочтительнее q_ν^{k-1} по сравнению с q_μ^k, можем допустить, что разность между весами $\varphi(q_\mu^{k-1}) - \varphi(q_\nu^k)$ должна быть пропорциональна разности $\ell^k - \ell^{k-1}$, т.е. можем написать

$$\varphi(q_\mu^{k-1}) - \varphi(q_\nu^k) = c\,(\ell^k - \ell^{k-1});$$

отсюда

$$\varphi(q_\mu^{k-1}) = \varphi(q_\nu^k) + c\,(\ell^k - \ell^{k-1}).$$

Таким образом, получили рекуррентные формулы. Зная $\varphi(q_\nu^k)$, можем определить веса всех признаков последовательности Π_0. Если допустить, что $c=1$ для признака q_j^1, получим вес

$$\varphi(q_j^1) = \max\{\ell_i\} + \ell_0 = \ell^n + \ell_0,$$

так что в качестве исходного веса будем брать вес наилучшего или наихудшего признака последовательности Π_0, это не имеет никакого значения.

Таким образом вместо $\Pi_0 = [Q_i, \omega, \ell_i]$ будем иметь $\Pi_0' = [Q_i, \omega, \varphi(q_i)]$. Её можно использовать для оценки экспертов $Э_\nu$, $\nu = \overline{1,M}$. Для этого поставим экспертам задачу произвести упорядочение параметров множества Q_i.

Естественно, что не все эксперты будут упорядочивать множество Q_i одинаково и подобно Π_0. Поэтому должны определить, насколько "близки" упорядоченные экспертами последовательности Π_ν к Π_0 (необязательно при этом потребовать от экспертов дать значения характерных чисел).

Для решения этого вопроса предлагаем следующий алгоритм, согласно которому сравниваем $\forall \Pi_\nu$ с последовательностью Π_0 и определяем число инверсии для всех Π_ν. Если в последовательности Π_ν какие - нибудь два параметра находятся не в том порядке, в каком они встречаются в последовательности Π_0, а в обратном, то считается, что эти параметры образуют инверсию (беспорядок) /4/.

В последовательности Π_ν число инверсий определяется подсчетом числа K_1 параметров, стоящих в последовательности Π_ν перед параметром, занимающим в Π_ν первое место. Затем зачеркнем этот патраметр и аналогично поступим $\forall P_j : P_j \in \Pi_\nu$, стоящим в Π_0 на втором и т.д. на n - том месте. Сумма всех K_j, полученных таким образом, и будет искомым числом инверсии данной последовательности.

Обозначим её через $J(\Pi_\nu)$. Подсчитав $\forall \Pi_\nu$, $\nu = \overline{1,M}$ число инверсий, получим $J(\Pi_1), J(\Pi_2), J(\Pi_3), \ldots, J(\Pi_M)$.

В связи с тем, что в числах инверсии не учитываются весовые факторы параметров, инвариантных относительно перестановки любых двух параметров независимо от их важности, считаем целесообразным использовать веса параметров, данные в Π_0' таким образом. Вместо вышеуказанной инверсии будем вычислять "взвешенную" инверсию в следующем смысле. Числа K_j тех параметров, которые вводят беспорядок в последовательности Π_ν, заменяем суммой весов этих параметров и умножаем на вес того параметра, относительно которого эти параметры создают беспорядок.

Таким образом получаем "взвешенные" инверсии, сумма которых определяет искомую инверсию $\Phi(J_\nu)$ последовательности

Π_ν. После вычисления этих инверсий для упорядочения самих последовательностей $\forall \Pi_\nu$, $\nu = \overline{1,M}$ введем следующее решающее правило:

если $\Phi(J_\nu) > \Phi(J_\mu)$, то $\Pi_\mu \succ \Pi_\nu$.

Согласно этому правилу можем уже упорядочить последовательности Π_ν по предпочтению (в смысле близости к последовательности Π_0) и тем самым упорядочить самих экспертов.

Используя "взвешенные" инверсии в качестве характерных чисел экспертов, получим последовательность $[э, \omega, \Phi(J_\nu)]$. Это - упорядоченное множество экспертов, на котором можем уже произвести взвешивание предпочтительности. Иначе говоря, с помощью вышеописанного метода можем произвести оценку экспертов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Т.Ткемаладзе. О вопросах упорядочения параметров. Сб. статей "Некоторые задачи распознавания образов и теории графов", "Мецниереба", 1972.
2. Н.Т.Ткемаладзе. Об одном способе введения количественной характеристики для оценки признаков. Сб. статей."Мецниереба", 1972.
3. Г.Биркгоф, Т.Барти. Современная прикладная алгебра, "Мир", М, 1976.
4. А.Н.Рублев. Линейная алгебра, "Высшая школа", М., 1968.

О "НЕЧЕТКОМ" МЫШЛЕНИИ И ИЗВЛЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯ (БИНАРНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИСКУССТВЕННОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА)

Чавчанидзе В.В.

В теории нечетких множеств, особенно в работах Л.Заде /1,2/, центр тяжести перенесен на разъяснение смысла нечеткости, на задание спектра переменных, внесение новых понятий. Однако из-за того, что многие исследователи нечетких множеств пришли к новому подходу с разных позиций, следует эти подходы развивать, ветвить, сделать их эффективными и, самое главное, добиться ясности в понимании смысла "нечеткости". Главным является вопрос: является ли "нечеткость" характеристикой субъекта или объекта? В работах /3-5/ недвусмысленно подчеркивалось, что сами объекты "нечетки". С другой стороны, наши суждения об объектах не могут не быть "нечеткими". А какова их совместимость? Как ставить эксперименты? Как их анализировать? Как формировать, синтезировать сложные "нечеткие мыслительные конструкты"?

Перейдем к обоснованию концептуального подхода к анализу "нечетких" систем, т.е. систем, имеющих нечеткую структуру. Следует быть осторожным при истолковании одних и тех же объектов нечеткой природы или нечетких дефиниций, поскольку существует различие между нашим подходом и подходом Заде.

Необходимо, конечно, согласиться с тем, что один из фундаментальных принципов современной науки состоит в том, что явление нельзя считать хорошо понятым до тех пор, пока оно не описано посредством количественных характеристик. Однако, как это ни странно, гуманитарии не сопротивлялись

введению символических исчислений, количественных и статистических оценок, а вот каждому новому математическому аппарату всегда сопротивлялись сами математики, физики и кибернетики. Так было во все времена - во времена Демокрита, Аристотеля, Платона, Архимеда, Декарта, Ньютона, Лейбница, Паскаля, Вейерштрасса, Лобачевского, Римана, Кантора, Клейна, Пуанкаре, Эйнштейна, Минковского, Н.Бора, Розерфорда, Луи Де Бройля, Гейзенберга, Дирака, Шварца, Хомского, Фейнмана, Дейсона, Швингера, Тьюринга, Маркова, Новикова, Гильберта, Гёделя, Поста, Глушкова и многих других.

В чем же дело? Дело в том, что даже точно, четко, корректно, логично мыслящие ученые в своем "взаимно-согласованном" и "самоорганизованном" сообществе сами образуют сложную "нечеткую" структуру, которая нелегко ассимилирует и аккомодирует новые идеи, выраженные в иной символике, системе аксиом и в иных понятиях, и если она и делает это, то в основном, в силу необходимости, в силу ярко осознанной потребности. Там, где необходимо начальное и неизменное интеллектуально-эмоциональное давление данных - там логические рассуждения не воспринимаются.

Так, например, многие биологи, социологи, лингвисты, нейрофизиологи, психологи сетуют на то, что нет соответствующего математического аппарата для описания феноменов в их сфере исследований. Но достаточно продемонстрировать им такой аппарат, они тут же отвернутся от него и займутся обычными своими делами, опять обращаясь к факторному или корреляционному анализу, прекрасно зная, что они ничего не дают. Люди науки и все ассоциации ученых нуждаются в преодолении барьера между известным и неизвестным, подтвержденным авторитетом и неподтвержденным. В настоящее время многие естествоиспытатели и гуманитарии все еще считают, что ЭВМ - это средство приближенного расчета процессов. Они не подозревают, что ЭВМ и алгоритмщик, моделировщик и программист , работающие на ней, это - единая "интеллектуальная единица" -"человек с компьютером".

Ненависть и неуважение ко всему неточному, нестрогому, неколичественному, в самом деле, столь велики, что эту аргументацию всех естественников и тех, кто им подражает (экономистов, психологов, социологов, инженеров и др.) следует один, но не последний раз расшатать и подвергнуть сомнению. В самом деле, если взять книги, статьи великих ученых-гуманистов и естественников не физико-математического склада мышления, то многие искренне убеждены, что у первых неточностей, нечеткостей, некорректности больше, чем у вторых. Трудно представить, какое это страшное заблуждение. Чтобы в этом убедиться, достаточно посетить до 300-400 судебных заседаний в любой стране мира или прочесть речи знаменитых адвокатов; мы увидим, что линия защиты интересов подзащитных позволяет адвокатам нанизывать довольно сложную аргументацию в интересах клиента, нигде не ошибаясь (в смысле стремления к избранной ими цели). Как к этому отнестись? Как к случайному факту или как к способности человека "переориентировать" последовательности цепочек рассуждений, взаимосвязи между которыми довольно сложны, тонки, многогранны. Но ведь каждый слушающий или читающий понимает, что аргументация правильно была направлена на пользу клиента. И хотя картина того, что на самом деле произошло, никому не ясна, все оценивают, что могло бы быть и чего не могло бы быть по жизненной логике событий и поведения участников данных событий.

Попробуйте, читатель, сосчитать число высказываний, предложений, потом сосчитайте число слов, понятий, потом попробуйте раскрыть смысл этих понятий и затем рассмотреть все это при помощи системы дифференциальных уравнений (!) или иных классических средств анализа по известным стохастическим, марковским и т.п. сверхпримитивным моделям (!). Когда психолог классического направления анализирует психический феномен, он, по существу, в мозгу своем оперирует сотнями соображений, высказываний, идей, гипотез и умеет, четко отличая "нечеткие" понятия, построить стройную систему взглядов, пользуясь своей собственной "мозговой ЦВМ".

Он знает больше и пишет меньше в целях проверки своих взглядов, он придумывает и продумывает эксперимент, организует его так искусно, чтобы число факторов было минимальным, а интерпретация наиболее однозначной. Вот в этом случае упрощенная модель в руках ученого-психолога становится средством не мышления, а средством контроля, средством, похожим на использование ЦВМ со стороны математика, кибернетика, прикладника. Интуитивные модели, которые строит в уме ученый, как это ни парадоксально, тоньше, точнее, корректнее, чем те, которые он же излагает на бумаге, и еще тоньше, чем он может отработать с помощью эксперимента или моделирования на ЦВМ. Но зато написанное или напечатанное однозначно, объективизировано, не меняется в процессе обсуждения, служит основанием для построения рассуждений другими (объективация знаний), для дальнейшего развития или организации опытов для подтверждения, проверки, доказательства. Иначе говоря, план эксперимента играет ту же роль, что и программа и цифровой выход ЦВМ. Так чем же могут хвалиться те, которые с помощью ЦВМ

проводят психологические эксперименты, используя упрощенные модели, где числа, символы не имеют "ширины" и все величины предельно четки? Не это ли основная причина того, что применение ЦВМ в сфере гуманитарных наук встречает стойкое сопротивление с их стороны? В то же время наблюдается чуть презрительное отношение тех, кто применяет ЦВМ для гуманистических проблем, к тем, кто направляет всю мощь естественного мыслящего в понятиях разума на решение сложнейших проблем, для которых нечеткость, неопределенность, структурированность есть существеннейшая характеристика явлений, процессов, объектов природы и реальности. Понятийная и нечеткая структура мыслительных операций /3/ есть отражение естественной или искусственной структурированности самих объектов реального мира. Слабые и сильные стороны мозга и ЭВМ не должны затемнять то, что следует видеть, изучать, исследовать в адекватной форме, присущей естественному мозгу. В этом заключается высшее назначение "интеллектуальной бионики".

I. ЭВМ, роботизм информатиков и необходимость перехода к новому мышлению

Конечно же, все информатики уверены, что в их руках "точные методы" исследования. Как писал Л.Заде /I/, "...неэффективность вычислительных машин в изучении гуманистических систем является подтверждением того, что может быть названо принципом несовместимости - принципом, утверждающим, что высокая точность несовместима с большой сложностью системы", и далее "... по этой причине обычные методы анализа систем и моделирования на ЭВМ, основанные на точной обработке численных данных, по существу, не способны охватить огромную сложность процессов человеческого мышления и принятия решений".

Отсюда его отказ от высоких стандартов точности и строгости и более терпимое отношение к иным подходам, которые являются приближенными по своей природе.

По этой причине, Л.Заде предсказывает, что "моделирование на ЭВМ станет действительно эффективным методом анализа систем, которые настолько сложны или некорректно определены, что не поддаются обычному количественному анализу" /I/. Далее, он вводит лингвистические переменные, значениями которых являются не числа, а слова или предложения в естественном или формальном языке. Нам представляется, что подход Л.Заде разрушает традиционные подходы не только математиков, но и матлогиков. В то же время, этот подход сам страдает определенной неэффективностью и, в особенности, тем, что он не связан со многими достижениями последних десятилетий кибернетики, эвристического программирования, теории искусственного интеллекта.

Итак, становится ясным, что требуется сочетать формальное мышление с неформальным, детерминизм мышления с творческим мышлением, формально логическое мышление с диалектической логикой реального мышления. Но ведь слово "ЭВМ" подавляет. Всякое знание подавляет, всякое знание делает возможным и спекулятивную организацию мистики путем предсказания событий (типа затмения солнца, как это делали египетские жрецы), наконец, знание организует узкие кланы "знатоков" особого "знания", т.е. создает человеческие ассоциации "понимающих", тем самым создается "инфраструктура" в обществе. Наконец, создается "мода", вызывающая "поток увлечения" тем, что "уже доступно","по-новому освоено", и тогда со своих мест сметаются все те, кто "несовременен". Это и есть мыслительный, машинный и компьютерный роботизм. Не пора ли при помощи самих

ЭВМ зафиксировать, что нам известно, кто что знает, что нас окружает, как мы живем, с тем, чтобы автоматизация не привела в ближайшее десятилетие к хаосу "загрязнения интеллектуальной среды людей". Мы забудем, как готовили пищу, мы забудем травы, забудем традиции, правила поведения, этикета. Уничтожим основы воспитания, обучения, мы бросимся в объятия красивых ЭВМ, роботов, позабыв и стерев с лица земли ландшафты, пейзаж, растения, разнообразие природы и жизни, мы будем извлекать все больше и больше пользы, не оставляя плацдарма для развития самого человека, для того, чтобы подготовиться к эпохе сочетания человеческого мышления с "машинным". Это говорится не в целях сохранения пока еще нетронутой ЭВМ социальной сферы, а для того, чтобы предпринимаемое будто бы в благих целях для человека, не превратилось в руках спешащих технократов в наказание человека, человеческих сообществ, государств, вообще всего человечества. Должны ли мы в этом плане различать меру точности и неточности, меру четкости и нечеткости, меру детерминированности и недерминированности, меру неслучайности и случайности, меру логики математической и формальной, меру неформальных логик и диалектической логики, меру локальности и нелокальности, меру локального и глобального, меру простого и сложного, меру несистемного и системного, меру сиюминутного и долгосрочного, меру существенного и несущественного, меру формы и меру содержания, меру дискретного и волнового, меру внешнего и внутреннего, меру синтаксиса и семантики любого процесса, меру грамматики и меру реального языка для любой из структур, реализующих свои возможности во времени? Да, да, да, именно это учит различать диалектический материализм. Наука точная, компьютерная в муках

рождает диалектику, "ребенок" давно родился, но "мать" не хочет этого понять. Диалектика, которая родилась давно как философия, в настоящее время возмужала, а диалектика, в которой нуждаются "информатики" всех родов, должна быть программно-вычислимой, "моделируемой" на ЭВМ, вот почему эту диалектику следует назвать "диалектикой моделирования", "диалектикой понятий" или как-то иначе, подчеркивая машинно-конструктивные, вычислительно-моделирующие, имитационные аспекты . Эта диалектика должна окончательно убедить тех ученых и философов, которые всегда считали, что диалектика - такой вид мышления, который не эффективен для очень конкретных научных изысканий, что их научное творчество обходится без "этих усложнений", что сами они весьма конкретны, что они - "соль земли", что они не очень верят в то, что в их век еще понадобится столь сложная философия и особо логика.

Необходимо ввести диалектические понятия во все элементы и разделы математики, в её "первые изначальные элементы", которые она считала до сих пор априорными, подчиняясь идеям Канта. Необходимо пересмотреть мнение о том, что математика есть наука наук, что она "не связана" с другими науками, что "она не отражает существующий" мир, что её предмет непосредственно не связан с материальным миром. Нельзя верить более в то, что живые ныне математики, рассуждая о своих, по существу, "диалектических объектах" знают, владеют этой диалектикой. Философы, математики, знающие диалектику, их не раз критиковали, но последние не изобретали аппарат диалектики, поэтому "их стрелы" не попадали в здание "оснований". Теперь легко представить, что творится при строительстве "другого математического здания современной математики" - "здания

"информатики" ("математики компьютерных исследований"), где каждый несет свой "кирпич", "блок", "окно", "двери" и заверяет всех, что здание уже построено и оно очень похоже на здание "оснований", что оно много больше, именно оно всем нужнее и что старая математика отмирает. Вот поистине та война, которая происходит вокруг проблем обоснования и построения здания современной математики, а математики- традиционщики, засев на разных этажах своего здания, вообще считают, что все это их не касается. Нельзя не согласиться с Питером Хенричем (федеральное высшее техническое училище, Цюрих, Швейцария) /6/, который писал: "Может быть наша математика нуждается в новой системе ценностей? Системе ценностей, в меньшей степени ориентированной на исследования в узкоспециализированных областях, на символы престижа, такие, как публикация статей в солидных журналах, на бдительно охраняемую неприкосновенность профессиональной кухни преподавательской деятельности, в которую "посторонние" не допускаются. Эта новая система ценностей должна поощрять обмен, передачу и накопление математической информации, должна позволить математику объясняться человеческим языком вместо использования составленных из математических символов ребусов. В этой новой системе ценностей занятие математикой будет действительно интеллектуальной деятельностью, зовущей к новым рубежам, а не поведением робота, который, следуя механической логике, перемалывает множество разрозненных задач. Давайте всем сердцем откликнемся на призыв Чарлза Райна и следуя ему и в нашей обыденной жизни, и в нашей профессии, не позволим математике остаться единственным серым пятном на фоне растущей и обновляющейся науки" (подчеркнуто мной В.Ч.).

Мы конечно, верим, что по существу в предмет математики давно вторглась диалектика, но математики все еще не знают, что диалектика мира, не освоенная ими как диалектика мышления, диалектика познания, как диалектическая логика, не позволяет математикам преодолеть барьер точности и строгости не имея какого-то аппарата опять таки в каком-то смысле строгого, четкого, алгоритмически эффективного, формализуемого, воспроизводимого другими математиками в иных условиях, иными средствами. Вот почему подход Л.Заде есть один из"таранов" в ворота старой математики. Этот "таран" расшатал "ворота", но "атакующие" не ворвались в "громадное здание оснований математики". Мы подозреваем, что Л.Заде скрывает истинную силу своих атак, надеясь сперва пробить "малую брешь". Нам малая брешь не поможет. Требуется гораздо больше. Вот почему мы убеждены, что элементы интуитизма, диалектики, роботизма, механической логики, столь странно втиснутые в "здание", нуждаются в перестройке. Но нельзя приступить к перестройке,не разобравшись в том, что "видим", "воспринимаем" вообще, изучая реальные процессы, явления, структуры и системы, не осознав, каким новым инструментом надо владеть в совершенстве,когда и как его применять, чтобы наше "видение", "восприятие" стало полноценным, адекватным. Мы вправе утверждать, что математика как таковая отражает, исследует не только тот мир, который она наблюдает, который ей дан непосредственно и опосредованно через другие науки, но, что она в пространстве и во времени осуществляла и осуществляет коллективные процессы мышления /7/, заключающиеся в том, что абстрактные элементы, которые ей даны, она сочетает между собою столь различно, насколько она может и успевает в историческом порядке с тем, чтобы"образовывать" такие объекты, которых не было, но ко-

торые позволяют лучше понять что есть, что может быть, что можно доказать, если только сочетаемые элементы будут удовлетворять определенным критериям (доказательность, логический вывод и т.п.). В таком случае математика гораздо проще, чем деятельность политика, военачальника, который должен найти, обнаружить причины "нечетких" явлений, процессов, наметить "нечеткие" управляющие средства и, "запустив" все это,все еще рисковать получить обратный результат. Поистине математики значительно меньше рискуют и поэтому не обращаются к ЭВМ для просмотра "вариантов событий в будущем возможном математическом мире". А разве природа не играет в эту "игру"? А разве мозг не учился "мышлению" у природы, которая материально "сочетает" свои элементы то в форме человека, "подчиняющегося во всем воле неизвестного высшего существа", то в форме человека, "подчиняющего свое поведение конечному числу критериев, органически позволяющему ему считать себя праведным, считать себя достойным награды в будущей жизни".

Чем же по существу отличается современная теория оснований математики от этих полуфактических, полумистических верований между двумя крайностями, каждое из которых идеалистично, но позволяет "молиться", употребляя "дозволенные слова" в "дозволенном контексте" не имея намерений заглядывать в тот мир, где появились такие "существа", за которых ратуют, что они "сами мыслят", "сами будут доказывать математические теоремы", что они "подменяют математиков"?

Может ли считаться наука ортодоксальной, если в ней совсем не исследуются процессы возникновения ее понятий, а все начинается с системы аксиом, которые берутся в качестве истинных, не разбираясь ни в их возникновении, ни в их "полном

числе", ни в причинах, ни в степени их достоверности, приложимости? "Сперва было слово" следует заменить в математике "Сперва были аксиомы". Нет, сперва был мир, позже - мозг его познающий, позже - математика и другие науки, оформившие правила элементарных шагов правильного познания этого мира, еще позже - пришло понимание того, что эти правила производны, что мозг человека сложнее, чем эти правила, что мир сложнее, что надо научиться видеть свою науку, вместе с другими. Математика - часть науки о расчете результатов синтеза вновь введенных абстрактных символических элементов понятий, при условии соблюдения критериев, ограничений средств и целевых объектов, которые могут или должны возникнуть. В этом смысле математика - типичная наука об эвристическом поиске в заданной проблемной среде /8,9/. Этого подхода придерживается Пойя /I0/, но его подход не связан с рассмотрением триады "математика+мир+познающий субъект" со стороны субъекта, начинающего понимать "познание" то чисто в теоретическом плане, то в процессе алгоритмизации, то в процессе машинного эксперимента как средства "видеть со стороны" "мир кодируемый + мир кодируемого".

Полезно ли будет математике отказаться от аксиоматического снобизма? Да, это всегда полезно. Это давно понято было в сфере драматургического творчества Бернардом Шоу. Но пьесы на сцене это одно, а жизнь - другое. Сейчас настало время составлять математические сценарии (алгоритмы) не из букв-символов, а из предложений. Зритель волен воспринимать пьесу, например, Б.Шоу "нечетко, "размыто". А впечатление от всей пьесы у всех одинаково огромно, но творчески разнообразно. Не пора ли этому "таинству" восприятия обучать молодое поколение еще в школе, чтобы не было боязни ЭВМ и не было жрецов, снобов и "роботов науки". Вот каковы проблемы "размерности" "ЭВМ, роботов, роботизма информатиков и необходимости перехода к новому мышлению в сфере системного анализа.

§ 2. О конечных $\{0-I\}$-последовательностях

Нет ли опасности в том, что "нечеткость" мышления и "нечеткость" естественных структур приведет к "нечетким" знаниям, к отказу от детерминированных алгоритмов и детерминистичности программирующего пошагового мышления? Ни одна научная проблема не вызывала столько сражений и не имела столько разнообразных подходов, как проблема случайности, стохастики и детерминированности (физической, логической), и все-таки нет согласия и даже схожести во взглядах крупнейших ученых вероятностников, математиков, физиков, философов и др.

В работе /II/ было высказано предположение, что само понятие вероятности есть мысленный конструкт, подлежащий вычислению по универсальной процедуре вычисления понятия. Порождает ли этот новый подход новизну в теории вероятностей или в теории "эффективной вычислимости"? Да, порождает, потому что в этом случае процедура вычисления концепта не сводится к чистому счету типа $\lim \frac{m(A_1)}{n(\Omega)}$, где m - число благоприятных событий, а n - общее число испытаний $(A_1 \cup A_2 = \Omega = A_1 \cup A_1^c = \Omega)$

Согласно новой точке зрения $m(A_1) = n - m(A_1^c)$, числа $m(A_1)$ и $m(A_1^c)$ зависят от структуры генератора событий $G(A_1, A_1^c, \Omega)$, следовательно, одна из возможных последовательностей $\{A_1, \bar{A}_1, \bar{A}_1, \bar{A}_1, A_1, A_1, \bar{A}_1, A_1, A_1, \bar{A}_1, \bar{A}_1, \ldots\}$ может изучаться как конечная $\{0-I\}$-последовательность /I2,I3/. Но именно при изучении /I4-I8/ последовательностей допускается наибольшее число нечеткостей с введенными понятиями о том, что есть случайность, периодичность, логическая необходимость и т.п. Более того, логично видеть, что $\{0,1\}$ - последовательности ни в каком смысле не образуют ни множества, ни

упорядоченного множества. Если заниматься "грамматическим разбором" одной из данных $\{0,1\}$ - последовательностей, то становится ясным, что недопустимо считать последовательность неограниченной справа или состоящей из произвольного числа элементов. Почему же так? Потому что иначе невозможно совершить "грамматический разбор" данной $\{0-1\}$- последовательности. А если это невозможно сделать, то у нас нет и не может быть какого-либо обоснованного суждения о данной $\{0-1\}$-последовательности; ни об одном утверждении о случайности, о периодичности, о какой-нибудь полуслучайности и полузакономерности (стохастичности) не может быть и речи. Что стало бы с нашей речью, если бы все наши высказывания-предположения обрывались на произвольных участках, а потом бы эти оборванные куски соединялись в одну цепь? Что бы это было-случайностная последовательность или структурная? Что если с любой программы списать подряд определенные ходы $\{0,1,1,1,1,0,0,\dots\}$, записывая I при "+" и 0 при "-" результатах проверки условия и т.д. при пошаговом продвижении по программе? Что мы откроем при этом, структуру программы или случайную $\{0-1\}$- последовательность из 10000 элементов? Существует ли случайность без генератора событий G, безотносительно к тому "сколько попыток" предпринято для воспроизведения событий при многих "повторах" с тем, чтобы заключения о генераторе G были бы валидными?

Любая цепочка 0-I-элементов и не закономерна и не случайностна, пока не известен класс "траекторий ($\{0,1\}$ - последовательностей), которые на равных длинах так или иначе воспроизводятся, сохраняя черты G генератора. Иначе говоря, "эргодичность" $\{0-1\}$-последовательностей имеет смысл лишь по отношению к каким-то 0-I-блокам определенной длины. Какой

же длины? На этот вопрос ответим в следующем параграфе. А сейчас отметим то важнейшее обстоятельство, что понятия случайности или детерминированности не существует вне указания того числа элементов в блоке, "повторения" которого должны что-то сообщить нам о генераторе G.

Информация о скрытом или не скрытом законе не может обнаруживаться на произвольных длинах $\{0-1\}$-последовательностей в зависимости от капризов экспериментаторов, наблюдателей, математиков. "Экспериментам" с $\{0-1\}$-последовательностями (наверное ясно, что аналогично можно было бы рассуждать о $\{0-1-2\}$-последовательностях и т.п.) необходима такая процедуризация, чтобы не было произвола в "обеспечении валидности" заключений о $\{0-1\}$- последовательности заданной длины. Тут нужна некая новая математическая идея, позволяющая установить равнообеспеченность 0-I "блоков". Идея заключается в том, что стандартными структурами среди "блоков" следует считать такие "блоки", длины которых могли бы позволить делать матиндуктивные заключения о блоках все возрастающих длин, т.е. позволяющие переходить от блоков к $n+1$ блокам. Такие "периодические структуры" можно будет назвать "матиндуктивными структурами (см.следующие параграфы).

Вот в этих условиях весьма неосторожно доказывать теоремы, не будучи уверенным в том, как следует подходить к столь знакомым объектам теории вероятностей и $\{0-1\}$- последовательностей в свете метода выявления их концептуальных структур и извлечения ограниченной информации из ограниченных данных наблюдений над событиями, над последовательностями сигналов и т.п.

§ 3. К началам нестатической теории извлечения информации из наблюдательных данных (концептуальная статистика)

Считается общепринятым, что обработку наблюдательных данных следует производить с целью извлечения информации на основе рекомендаций математической статистики. Эту догму будем называть матстатистической догмой-I. Считается, что обработка наблюдательных данных на основе рекомендаций аппарата, методов и техники матстатистики и прикладной матстатистики не только необходимость, но и единственная возможность, позволяющая извлекать максимум информации из наблюдательных данных. Это последнее положение будем называть матстатистической догмой-II. Более того, "всеядное" применение понятия среднего количества информации, введенного К.Шенноном /I9/ во всех областях науки, техники и действительности привело к повышению роли "неразличимости" качеств, событий и предметов и, тем самым, к парадоксальной победе матстатистики в эпоху компьютеров, когда и принципиально и фактически все можно "помнить об индивидуальных объектах и структурах", не прибегая к неразличимости предметов, объектов, субъектов и т.п. На языке проблемы о максвелловом демоне это звучит так: если все демоны различны и они отличаемы (различаемы объективно), то и проблемы не существует. Зачем тогда столь большое внимание уделяют среднему количеству информации, когда детально задана сама информация в форме осуществленных частных "реализаций" и сообщений? Догму эту, которую К.Шеннон как раз сам и не разделяет, будем называть догмой-III теории информации. Попытаемся отказаться от всех догм, опираясь на шенноновское понимание бинарности и эшбиевское понимание принципов максимального разнообразия и всеобщей бинарности объектов, процессов и

структур, согласно теории ИКИ. В работах /3-5/ показано, что понимание двузначности альтернатив должно быть понято как принцип всеобщей бинарной структуры бытия, из которого вытекают принципы бинарности логических, вероятностных, количественных и других познавательных конструктов и даже нейрональных структур познающего мозга /20,2I/. Оставим пока в стороне вопрос об отношении этого естественно-научного принципа к философским принципам диалектики, обратимся к конкретно научным выводам, следующим из нового подхода к счёту и учёту событий реального мира.

§ 4. Начала концептуально-бинаризационного анализа наблюдательных данных (концептуальная нематематическая статистика)

Применим теорию ИКИ /3-5/ к задаче оптимального анализа наблюдательных данных. Под оптимальностью анализа будем понимать возможность предельно-оптимального извлечения информации о генераторе G, являющемся источником "выходов", наблюдаемых субъектом $\mathcal{H}$. $\mathcal{H}$ осуществляет ряд измерительных, наблюдательных, экспериментальных, вычислительных процедур для извлечения информации о генераторе G, организуя "наблюдение" (в широком смысле слова) так, чтобы влияние самого процесса наблюдения, эксперимента, процедуры расчета, самого экспериментатора было минимальным. Мы утверждаем, что именно на этом этапе обработки данных по известным процедурам математической статистики происходят отклонения либо в сторону явной недостаточности умозаключений, либо в сторону их необоснованности. Требуется ввести некую стандартную меру и процедуру равной средней обоснованности (обеспеченности) выводов, носящих информационный характер для самых различных "наблюде-

ний", проведенных в нестандартных условиях.

Пусть имеем интервал "наблюдения" для переменной $x \in X = [a, b]$, который подразбит на интервалы $\Delta\xi_i = [\xi_{i-1}, \xi_i]$, где $i \in M = \{1, 2, \ldots, m\}$. Пусть общее число наблюденных (конкретных) выходов переменной $\xi \subset X$ равно N_0. Пусть число наблюдений одного из "выходов" переменной (т.е. наблюдение в $\Delta\xi_i (x_j \in \Delta\xi_j)$) равно n_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$. При этом общее число "выходов"

$$\sum_{j=1}^{m} f(x_j) = \sum_{j=1}^{m} n_j = N_0.$$

Примем, что в любых измерительных процедурах деление интервала $X = [a, b]$ в интересах стандартизации таково, что числа m_0 и N_0 представляются только и только в форме $m_0 = 2^{l_0}$ и $N_0 = 2^{K_0}$. Введем меру средней обеспеченности серии наблюдений $\bar{\mu} = +\log_2(N_0 - \log_2 m_0)$. $\bar{\mu}$ будем называть "средней информационной обеспеченностью серии наблюдений" (т.е. опыта в целом). Частной (локальной) информационной обеспеченностью в интервале $\Delta\xi_j$ назовем величину $\mu(\Delta\xi_j) = +\log_2(n_j \log_2 2^1) = \log_2 n_j$. Когда $N_0 = m_0 = 2^{l_0}$, то $\bar{\mu} = l_0 + \log_2 l_0)$. Если $l = 1$ $(m = 2)$, то при $N_0 = 2^4$ имеем среднюю обеспеченность $\bar{\mu} = 4$. Допустим, этот опыт относится к подбрасыванию "нормальной" ($p = \frac{1}{2}, q = 1 - p = \frac{1}{2}$) монеты G, каково должно быть K_0, чтобы можно было уверенно судить о том или ином поведении монеты G? Обычно для решения этого вопроса обращаются к критериям математической статистики. Можно совершенно иначе подойти к этой проблеме, если к измерительной процедуре наблюдения значения переменной x ("попадание" или "непопадание" в интервал $\Delta\xi_j$) подойти как к универсальной стандартной информационно-логической проблеме. Распределение значений переменной $x \in X = [\Delta\xi_1, \Delta\xi_2, \ldots, \Delta\xi_{m_0}]$ может быть представлено в форме

конституент единицы типа /4/

$$\varphi_r^1 = (\check{\Psi}_1)^1 (\check{\Psi}_2)^1 \ldots (\check{\Psi}_{l_0})^1 \ldots \qquad (1)$$

где φ_r^1 одна из "траекторий", которая может возникнуть в результате генерации G. $\check{\Psi}_j$ - вектор-матрица ранга $2^{l_0} = m_0$, где элементы j-ой строки могут быть заданы либо в форме $\{P_j\}_K, \{\bar{P}_j\}_K$, либо в форме $\{\sigma_j\}_K, \{\Lambda_j\}_K$ /22,23/.

Любую "траекторию" (или одну из "реализаций опыта /4/) можно записать или в форме "конституент единицы" вектор-матрицы типа φ_r где $r \in R = [1, 2, \ldots, 2^{l_0}]$, или в форме кода для "числа", двоичное разложение которого определяется произведением l_0 "поляризованных" ортонормированных вектор-матриц волновой адресации /24/. В самом деле, получив некую (реально осуществленную) серию наблюдений, можно сделать заключение о "концепте" меры случайности выбросов монеты G, т.е. вероятности p и $\bar{p} = 1 - p$.

Итак, речь идет о том, как извлечь "всю допустимую информацию", заключенную в N_0 испытаниях. Необходимо извлечь всю информацию из серии наблюдений, установить степень достоверности полученных данных при заданной средней и частной обеспеченности наблюдений, т.е. всего опыта в целом. Необходимо установить новую процедуру нахождения "причины" несовпадения опытов, т.е. обнаруживать (при заданной обеспеченности) конкретный источник случайных, несущественных изменений или особенностей в генераторе или искажений в процессе измерений (выявление дополнительного неизвестного параметра или помехи). Необходимо отказаться от произвола экспериментаторов в выборе m_0 и N_0.

Примем принцип ограничения заключений об опытах типа $\{m_0, N_0\}$.

Принцип ограничения извлечения информации о генераторе G по опыту типа $\{m_0, N_0\}$ можно выявить лишь на основе N_0 воспроизведения наблюдений (опыта) $\{m, N_0\}$ над одним и тем же объектом, "выходы" которого могут принять лишь m_0 значений. Описание этого "вероятностно-логического" пространства /22/ возможно с помощью $2\ell_0$ ортонормированных вектор-матриц. Тогда каждое "испытание", как говорилось выше, дает одну "траекторию" ("реализацию") в форме φ_r' (см.формулу (I)). Например, "выход" в первый интервал будет описываться конституентой $\varphi_1 = \psi_1, \psi_2, \ldots, \psi_{\ell_0}$; а в последний - в форме $\varphi_{2\ell_0} = \bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2, \ldots, \bar{\psi}_{\ell_0}$, где φ_1 - есть первая "траектория", а $\check{\psi}_j$ - вектор-матрица ранга 2^{ℓ_0}, где элементы j-ой строки заданы в форме $\{P_k\}$ или $\{\bar{P}_k\}$, в форме $\{\check{\xi}_j\}$ или $\{\bar{\check{\xi}}_j\}$, где переменная $\check{\xi}_j$ отмечает наличие "выхода" (логическая функция) испытываемого объекта в периодическо-волновом $x_j \in X$ с периодом $\pi_i = 2^{\ell_0 - i}$ (см.подробнее в статьях /22-24/). Это означает, что однократный "выход" ("выброс") в одном наблюдении полностью описывается "конституентой единицы" типа $\varphi_r = \mathop{\&}\limits_{i=1}^{\ell_0} \psi_i^{\sigma_i}$, где $\sigma_i = \begin{cases} 1 & \text{при } \psi_i \\ 0 & \text{при } \bar{\psi}_i \end{cases}$. Тогда "неполное понятие" (неполный "концепт" со средней обеспеченностью $\bar{\mu} = \mu_0 + \log_2 \ell_0$) о том, что из себя представляет генератор G, будет описываться выражением:

$$\Phi(m_0, N_0) = \mathop{\vee}\limits_{r=1}^{N_0} \varphi_r' = \mathop{\vee}\limits_{r=1}^{N_0} \Big(\mathop{\&}\limits_{i=1}^{K} \psi_i^{\sigma_i} \Big)_r ; \quad \sigma_i \in \sigma = [0,1].$$

При неограниченном росте N, $\Phi(m_0, N_0)$ будет аналитически приближаться к "концепту", т.е. понятию об G, логико-концептуально описывающему генератор G. При этом всегда можно будет точно знать, каково среднее обеспечение $\bar{\mu}_0$ проведенной серии "испытаний" длиною N_0, и тем самым иметь основание для обоснованного сравнения с опытами или

наблюдениями, проведенными другими лицами в иных условиях, на других объектах типа G.

Приняв за всеобщий стандарт определенное значение, конкретное значение, например $\bar{\mu} = 6$ или 7, можно между собою сравнивать различные серии испытаний в различных экспериментах. При нашем логико-концептуальном способе все отдельные значения переменных опыта описываются совокупно, как единое целое, каждая выпавшая "точка" $x_i \in X$ имеет свою обеспеченность $\mu(\xi_i)$ и тем самым дает право делать те или иные заключения о данном частном "выбросе" по "области" значений переменных $\{\Delta x\} = \{x_i, x_{i+1}, \ldots, x_{i+s}\}$ со средним обеспечением $\overline{\mu(\{x\}_i^s)}$ по области или со средним относительным обеспечением $\tilde{\mu}_0 = \frac{\bar{\mu}_0}{m_0}$. Кроме того, наличие "ядра концепта" /5/ позволяет однообразно, на языке блок-схем, на языке теории сетей, на языке грамматического разбора универсальным образом описывать произвольный генератор G в предельно существенных чертах, когда инверсия поляризации (т.е. переход ψ_i к $\bar{\psi}_i$ или наоборот) хотя бы одного компонента из $\Phi(m_0) = \lim\limits_{N_0 \to \infty} \Phi(m_0, N_0)$ означает описание иного G. Более того, наличие "концепта" $\Phi(m)$ позволяет абсолютно имитировать "ряд испытаний" любой длины N_0 (!) средней обеспеченности $\bar{\mu}_0$, если провести "машинные или иные испытания" по методам типа Монте-Карло. Только в этом случае различные наблюдатели G могут сравнивать свои результаты, свои понятия.

Все это позволяет совершенно по-новому поставить проблему о закономерностях 0-I—конечных и бесконечных последовательностей, выдвинутых академиком А.Н.Колмогоровым. Не существует абстрактного суждения о степени рандомизации той или иной конечной 0-I—последовательности. Последовательность

$V=\{1,0,1,0,1,0,1,0,1,0...\}$ можно было бы считать абсолютно рандомизированной, если бы интуиция не указывала на абсурдность такого умозаключения, связанного с тем, что последовательность имеет период $\pi_K = 2^{K-1}$, где K - велико и кроме того неизвестно его значение. Вот почему необходимо выбрать такое конечное $K=K_0$, чтобы в последовательности V_G можно было наблюдать последовательности длиною $N_0=2^{K_0}$ с тем, чтобы средняя обеспеченность была бы не ниже наперед заданной $\mu=K_0+\log_2 K_0$. Это означает, что лишено смысла утверждение о полной или абсолютной рандомизации $\{0\in 1\}$-последовательности, безотносительно к "концепту" структуры $\{0,1\}$-генератора G, выдающей последовательность с заданной средней обеспеченностью, состоящей из $N_0=2^{K_0}$ "блоков", каждый из которых имеет длину $2^{K_0}=\pi_{K_0}$. Величина K_0 позволяет указать на возможные "периодичности" $\pi < \pi_{K_0}$ со средней обеспеченностью $\bar{\mu}_0=K_0+1$. В случае "побуквенного совпадения" всех взятых "частных концептов-блоков" длиною $\pi_{K_0}=2^{K_0}$, можно будет утверждать, что возможен "период π_{K_0+1}". Для "обеспеченности" этого заключения потребуется "продлить" длину $\{0-1\}$-последовательности по крайней мере до $N_0'=2^{K_0+1}$, что даёт новую среднюю обеспеченность для "удлиненных блоков" $\bar{\mu}'$ и т.д.

Все это говорит о том, что природа (структура) "волнового" уклада $\{0-1\}$-последовательностей для генератора G настолько же случайна, "насколько" случайно участие различных "периодов" в формировании этой V_G последовательности, а степень случайности в самих наборах периодичностей $\mathcal{S}_r$ или Φ, измеряется "степенью случайности" набора σ_i знаков в наборе, описывающем "концепт", который определенно может быть связан с двоичной записью "концептов" /4/.

Это означает, что имеет место закон последовательно рекурсивного логарифмирования (с основанием 2) набора знаков компонент конституент 0-I—последовательности.

Таким образом, "случайность" как высшая степень несвязанности компонент, в нашем понимании оказалась связанной с предельно "широким" спектром "волновых" составляющих конституент "концепта", наборы номеров которых в свою очередь сами могут быть также описаны. В этом плане не существует ни одной конечной, ни абсолютно случайной, ни абсолютно "логической" "последовательности", если не указаны полный "спектр" описателей (описывающих свойства волновых блоков и подсовокупностей 0-I—последовательностей), при заданном среднем обеспечении $\bar{\mu}_0$, m_0, N_0 и наборы $0-1$ последовательностей.

К сожалению, из неодинаково информационно обеспеченных кривых различные "наблюдатели" извлекают самую разную информацию, давая самые различные интерпретации опытам и зачастую делают логически или статистически необоснованные выводы. Но не это является самым главным "превышением прав" наблюдателей. Самое главное заключается в том, что при очень большом среднем числе наблюдений для каждой точки интервала $(\bar{\mu} >> 7)$, согласно правилам математической статистики, не всегда обнаруживают логически валидные заключения. Наблюдатели из осторожности оперируют искусственно обеднёнными понятиями математической статистики (в основном первые и вторые моменты!) и редко переходят на уровень идентификации данных различных серий одного опыта, проявляя неоправданную сверхосторожность. Только лишь в случае спектральных кривых, экспериментаторы о каждой линии пытаются говорить содержательно и по отдельности, не обращая внимания на "мешаю-

щие" соседние линии (это основано на интуиции, а не на расчёте обеспеченности данных). По существу здесь одновременно существуют логически-интуитивные заключения с матстатистическими заключениями наблюдателя. Современные автоматические самописцы фактически позволяют экспериментаторам с первого же раза верить "полученным кривым, линиям и т.п.", не повторяя сотни раз процесса снятия кривых, что следовало бы делать при их обычном матстатистическом истолковании.
Так уж принято у людей, увидев один раз жирафа и более не проверяя, верить "структуре" с первого взгляда и не требовать повторения опыта. Этот эффект не так-то легко объясним с точки зрения матстатистики.

Это означает, что несмотря на сверхсложное строение наблюдаемых структур, сверхвысокая обеспеченность заставляет наблюдателя делать не статистические, а именно логическо-интуитивные умозаключения (вспомним наблюдения под микроскопом, наблюдения с помощью астрономических приборов, фотоизображениям и т.п.). Необходимо ли научиться извлекать "всю информацию" из опытов, когда обеспеченность $\bar{\mu}$ невысока, и одновременно установить степень достоверности для значений различных параметров кривой распределения для генератора? Обратно, можно ли, зная хорошо обеспеченное $\bar{\mu}$, определить с той или иной вероятностью "причины" отклонений и источник искажений, существование дополнительных, ранее не подозреваемых параметров, факторов и т.п.? Необходимо знать, на какие умозаключения и выводы мы имеем право и с какой степенью достоверности. Когда имеем право делать логические умозаключения? Экспериментатор естественным образом увеличивает "разрешение" прибора, тем самым увеличивая $\bar{\mu}$. Но эти процедуры толкуются не в духе матстатистики, а в духе

теории ошибок измерений, т.е. в духе "блуждания" событий вокруг "семантически" значимых и заранее известных экспериментатору кривых.

Вот почему проблема извлечения оптимальной информации из наблюдательных данных становится важнейшей проблемой теории обработки наблюдательных данных, в особенности тогда, когда в эпоху ЭВМ стали измеряться всевозможные параметры у систем, для которых $\bar{\mu}$ слишком велико, а N_0 слишком мало, а умозаключения на основе схожести некоторых областей кривой с другими кривыми для более простых объектов наблюдения позволяют авторам делать необычно много необоснованных умозаключений и выводов не имея "единой меры" ("метра") для обеспеченности различных наблюдений, опыта и воспроизведения опытов.

Всем известна формула Шеннона

$$\mathcal{H} = -N\sum_{i=1}^{m} p_i \log_2 p_i$$

где N есть длина сообщений. Однако наш подход уточняет правило выбора N. Необходимость стандартизации процедуры заставляет N выбрать так, чтобы N было пропорционально N_0, где $N = q\cdot N_0 = q\cdot 2^{k_0}$. Тогда для энтропии сообщения длиною $N = N_0\cdot q = 2^{k_0}\cdot q$ имеем $\mathcal{H}_V = q\cdot N_0 H = 2^{k_0}\cdot q\cdot H$. При $p_i = \frac{1}{m_0} = \frac{1}{2^{l_0}}$, $H = \log_2 m_0 = l_0$ $\mathcal{H}_N = 2^{k_0}\cdot q\cdot l_0 = q\cdot 2^{k_0+\log_2 l_0} = q\cdot 2^{\bar{\mu}_0} = 2^{\bar{\mu}_0+\log_2 q} = 2^{\bar{\mu}}$, где $\bar{\mu} = \bar{\mu}_0 + \log_2 q$.

Итак, процедура стандартизации опытов в различных сериях испытаний требует равной обеспеченности сравниваемых опытов, т.е. равного числа $\bar{\mu}_0 = k_0 + \log_2 l_0$

Никакие опыты не могут проводиться с обеспеченностью меньше $\bar{\mu}_{min} = \log_2 l_0 + 1, q = 1$. Опыты, в которых $\bar{\mu}$ не целое число, "обрабатываются" в пределах целой части, т.е.

$$[\bar{\mu}] = [\log_2 l_0 + k_p] = [\log_2 l_0] + [k_0]$$

В общем случае, если $\bar{\mu}$ произвольно

$$\bar{\mu} = k_0 + \log_2 q + \log_2(\log_2 m_0) = k_0 + \log_2 q + \log_2 H$$

Можно выделить наименьшую часть для всех серий опытов $\{\bar{N}\}_{min(\psi,\tau)}=[(\log_2 H+k_0)+\log_2 q]_{min(\psi,\tau)}=[\log_2 H+k_0]$,где (ц.ч.)- целое число, а результаты остальной доли испытаний отбросить. Таким образом, задача стандартизации серий испытаний и однородного извлечения информации из них требует равной средней обеспеченности особой их представимости H_N . H_N представимо в форме 2^{V_0} , где V_0 - целое число. Если $N_{ц.ч.}=k_0+\log_2 l_0=k_0+\log_2 2^{\omega_0}=k_0+\omega_0$, где ω_0 - обязательно целое число, то все серии опытов сравнимы между собой по блокам произвольной длины, но не менее 2-х (т.е. $\omega_0 \geq 1$).

Необходимо знать, какова истинно случайная 0-I-конечная последовательность. В следующем параграфе будет предпринята попытка ответить на этот вопрос.

§ 5. О новом подходе к проблеме случайных 0-I-последовательностей на основе теории искусственного концептуального интеллекта (ИКИ)

Проблема структуры 0-I-последовательностей, в том числе случайных последовательностей /I2,25/, соприкасается со многими проблемами математики, теории вероятностей и теории информационных структур, теории структуры данных.

Рассмотрим проблему структуризации 0-I -блоков и 0-I-последовательностей, взяв за основу работы /I2,I3/. Однако подход наш будет резко отличаться от кибернетических подходов, не использующих концепции эвристического поиска, идей искусственного интеллекта и др. Необходимо 0-I-блоки и 0-I-последовательности рассмотреть, следуя подходам, описанным в работах / 3,4 /. Необходимо определить понятие "структурированное 0-I-слово" и "неструктурированное 0-I-слово". Необходимо определить, что означает слово в конечных 0-I-последовательностях и особенно в бесконечных 0-I-последовательностях.

Начнем с критики устоявшихся подходов к 0-I-последовательностям в той форме, в какой они обсуждаются в работах /I2,I3/. Нами утверждается, что эти 0-I-последовательности не являются структурами ни в каком смысле, более того, они не являются и множествами в смысле теории множеств. Поскольку нельзя назвать ни элементы, ни их свойства в избранной совокупности элементов, которые должны были бы образовать некую целостность, они не являются словами и в смысле матлингвистики. Они не являются структурами в смысле теории структуры данных. Кроме того что каждый элемент либо I, либо 0 - ничего не известно, зато в качестве цели исследования ставится задача об оценке меры случайности счетнобесконечной 0-I-последовательности. Но "случайность" и "не случайность" - это определенные свойства "чего-то", точнее понятия, по которым мы и должны были бы отбирать каким-либо способом те элементы, которые могли бы относиться к искомому или отбираемому множеству элементов, каждое из которых могло бы быть какой-либо 0-I-последовательностью (не обязательно случайностной). Мы не умеем определять случайность как понятие, не умеем определять меру случайности конечной 0-I-последовательности, тем более ничего нельзя говорить о счетно-конечных 0-I-последовательностях.

Перейдем к формулировке новых принципов подхода к проблеме определения меры случайности конечных и счетно-бесконечных 0-I-последовательностей. В целях полного отхода от основных догм теории 0-I-последовательностей с самого начала изложим основные подходы в форме принципов.

Рассмотрим вначале принцип блочно-иерархического искусственного структурирования математических объектов согласно принципу математической индукции. Иначе говоря, имея неяс-

ный, в смысле основ теории множеств, по структуре математический объект (например, множество из элементов, вхождения которых во множество непредсказуемы (т.к. $\check{\omega}_i = \{\frac{\alpha_i}{\sigma_i}$, где ($i \in I$)), нельзя рассуждать ни о свойствах конечных 0-I-блоков, ни тем более о {0-I}-последовательностях до тех пор, пока не будет проведена, по крайней мере, внешняя искусственная структуризация блока или блочно-иерархических последовательностей особой структуры как "форм", в которых должны "возникать" и в которые должны "попадать" те или иные элементы. Именно эта изначальная альтернативность попадания каждого элемента и упорядоченность переменных $\check{\omega}_i$ и делает необходимым введение особой структуризованности блоков, следуя какому-либо естественному принципу. В качестве базового принципа мы избираем принцип математической индукции. Принцип, который одновременно позволил бы вести непререкаемые доказательства теорем о свойствах тех или иных математических объектов и структур. Одновременно этот принцип позволит стать основой универсальной стандартизованной структуризации неопределенно-альтернативно заданных счетно-бесконечных объектов, о структуре которых слишком мало известно. Фактически, такие объекты - бинаризованно заданные множества /3,4/. Нельзя рассуждать ни о каких {0-I}-последовательностях, не имея в виду возможности распространения математических высказываний на неограниченно растущие по длине {0-I}-последовательности, в том числе и на счетно-бесконечные {0-I}-последовательности. Это означает, что блочное описание каких-либо конечных {0-I}-последовательностей должно содержать в себе возможность поблочной структуризации и особой нумерации в такой иерархической форме, чтобы утверждение о свойстве "0-I-блока $\mathcal{B}(\ell)$ " порядка ℓ могло бы обсуждаться для "0-I-блока $\mathcal{B}(\ell+1)$" порядка $\ell+1$. В случае "переносимости" свойства $\mathcal{B}(\ell)$ на $\mathcal{B}(\ell+1)$ для любого ℓ (независимость от ℓ) и истинности свойства для $\ell=1$ утверждались бы истинность рассматриваемого свойства для счетной последовательности блоков: $\mathcal{B}(1), \mathcal{B}(2), \ldots, \mathcal{B}(\ell), \ldots$, т.е. утверждение было обобщено для произвольного $\mathcal{B}(\ell)$ и принято как общее свойство структур типа $\mathcal{B}$, как объекта, отличного от C, D, E и других структур того же класса. Более того, можно утверждать обратное: метод математической индукции в силу своей истинности, универсальности и валидности каждый раз в скрытой форме использовался для таких именно структур, которые были в каком-то смысле рекурсивны, рекуррентны. Это же обстоятельство и сделалось основой современной информатики и ряда машинных символических языков. Таким образом, "чудо" математических доказательств скрыто в иерархической структуре соответствующих объектов. Менее всего исследованы реальные структуры упорядоченных в каком-либо смысле математических объектов, не исследованы понятия "вложений" и расширяющегося накрытия интервалов и т.п. Именно в этой связи и важно начать с изучения предельно простых 0-I-структур как неких "целостных" объектов, а не последовательностей из "локально", независимо и последовательно появляющихся 0 или I элементов. Следуя /I2/ будем утверждать, что "0-I-блок" есть объект-концепт, т.е. "вычислимое понятие", которое должно быть строго символьно определено как "процедурно вычислимое понятие", т.е. доведено до стандартизованной формы бинаризованного описания в форме "концепта" /5/.

$$\check{W}(\ell) = \{ w_1^{\sigma_1} \& w_2^{\sigma_2} \& w_3^{\sigma_3} \& \ldots \& w_i^{\sigma_i} \& \ldots \& w_\ell^{\sigma_\ell} \} \quad (3)$$

В случае $\ell=7$ мы могли бы иметь, например, такие "траектории"

$$\omega_{1,3,4,6} = \omega_1 \bar{\omega}_2 \omega_3 \omega_4 \bar{\omega}_5 \omega_6 \bar{\omega}_7$$

$$\omega_{2,5,7} = \bar{\omega}_1 \omega_2 \bar{\omega}_3 \bar{\omega}_4 \omega_5 \bar{\omega}_6 \omega_7$$

Как видно, эти "траектории" /26/ "посетили" всевозможные "топосы". Теперь совершенно ясно, что ни одна из них не изображает совершенную, в каком-либо смысле случайную 0-I-последовательность, т.к. $\omega_{1,3,4,6}$ так же, как и $\omega_{2,5,7}$ может быть структуризовано, хотя их "суперпозиция" внешне неструктуризована. Когда же можно было бы, хотя бы интуитивно, считать $\check{\omega}(\ell)$ "неструктурированной"? Можно ли считать какую-либо частную "траекторию" $\omega(\ell)'$ истинно случайной? Для этого мы и должны знать, что же такое понятие "случайность"? Иначе говоря, *либо* иметь генератор "случайных траекторий", *либо* иметь осуществленной одну из таких "траекторий" и опознать её в качестве случайной.

В случае $\ell=2$ мы, к своему удивлению, обнаруживаем, что все формы $x_1x_2, \bar{x}_1\bar{x}_2, x_1\bar{x}_2, \bar{x}_1x_2$ одинаково и случайны и не случайны. "Наложение" этих форм ведет к $x_1 \vee x_2, x_1 \vee \bar{x}_2, \bar{x}_1 \vee x_2, \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2$ (поскольку $x_1 \vee \bar{x}_1 \equiv 1, x_2 \vee \bar{x}_2 \equiv 1$, $x_1 \cdot x_1 = x_1$, $x_2 \cdot x_2 = x_2, x_i \cdot \bar{x}_i = 0, x_i \cdot \bar{x}_i = 0$ и т.п.). Итак, на уровне 0-I-блоков уровня ℓ понятия "случайности" и "неслучайности" ("логичности" или "закономерности") абсолютно бессмысленны. Для неструктурированного $\check{\omega}(\ell)$ все "траектории" равноправны независимо от "содержания" "траектории". Иначе говоря, по мере роста ℓ вероятность встречи редкой "траектории" типа $\{0,0,0,0,\dots,0\}$ или $\{1,1,1,\dots,1\}$ ничем не отличается от "вероятности" появления любой другой "траектории"

типа $\{0,1,0,1,1,1,0,0,1,1,0,1,1,0,0,1,0,1,1,0,\dots\}_\ell$. Как ни парадоксально, в чистой логике все случайно и структурировано, если "остановиться" на одной из траекторий и к "розыгрышам" /27/ других "траекторий" не обращаться, а фиксировать наличную "траекторию". Таков способ передачи генетической информации. Лишь мозг человека "освоил" специфическую операцию над "случайными" или "неслучайными" "траекториями", суперпонируя те из них, которые относятся к одному классу предметов, и фиксируя концепты (понятия) о них, как экономную, сконденсированную форму, в которой часть переменных фиксирована, так что для мозга всякая "память" /28/ есть хранение концептов вида

$$\omega(con) = \{\omega_1', \omega_2', \omega_3', \dots, \omega_r', \check{\omega}_{r+1}, \check{\omega}_{r+2}, \dots, \check{\omega}_\ell\},$$

где r существенных признаков фиксированы "навсегда", а остальные могут встречаться в почти произвольных сочетаниях (это касается и белковых структур /29,30/, и других естественных природных структур /31,32/).

Итак, различие природных и искусственных $\{0,1\}$ структур связано с сочетанием "жестко фиксируемых" и "нежестко фиксируемых" наборов свойств, признаков. В этом же плане следует решать и проблему случайности того или иного конкретного 0-I-блока B_ℓ". B_ℓ-блок "случаен", если его генерировал $G(\ell)$ блок, в котором ни одна переменная жестко не фиксирована. Тогда все порожденные $\bar{G}(\ell)$ генераторы будут вырабатывать только и только "случайные траектории". Но умеем ли мы пробегать по "клавишам" всего ℓ переменных ω_i так, чтобы не "навязывать" этому процессу свой выбор, свой субъективный порядок (т.е. опять структура отбора). А если это "делает" природа? Как тогда оценивать степень случайности "воздействия"

природы? (Например, как в случае неструктурированного по Дарвину естественного отбора или как в случае "структурированного отбора" по Л.Бергу).

Теперь ясно, что сам "перебор" переменных должен производиться особым образом, рекурсивно обращаясь с наборами (множествами) номеров переменных. С этого момента становится необходимым введение особой иерархичности блоков, т.е. введение внешней структуры над блоками с тем, чтобы они оказались "вложенными" друг в друга. Только в этом случае описание приобретет естественную матиндуктивную рекурсивность и станет возможным "иерархическое интегрально-глобальное" описание взаимно вложенных блоков как "материально-математического субстрата" в форме "универсальной иерархической рекурсивной матиндуктивной структуры".

Литература

1. Л.А.Заде. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. В сб."Математика сегодня", М., № 7, 1974.
2. Р.Беллман, Л.А.Заде. Принятие решений в расплывчатых условиях. В сб."Вопросы анализа и процедуры принятия решений". Под ред. И.Д.Шохнова, М., 1976.
3. В.В.Чавчанидзе. К теории естественного и искусственного концептуального интеллекта. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (концептуальный подход). Тбилиси, 1976, 7.

4. В.В.Чавчанидзе. Аналитические эвристики искусственного интеллекта при формировании понятий, опознании образов и классификации объектов. Деп. ВИНИТИ, 80-70.
5. V.V.Chavchanidze.Towards the General Theory of Conceptual Systems. Kybernetes, v.3, N 1, 1974.
6. П.Хенич. Математика наших дней. Серия "Математика, кибернетика", "Знание", № 12, 1976.
7. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью (психоэвристическое программирование).Под ред. акад.АН ГССР В.В.Чавчанидзе, "Мецниереба", Тбилиси, 1974, 60.
8. В.Н.Тростников. Конструктивные процессы в математике, М., "Наука", 1975.
9. Р.Дуда, П.Харт. Распознавание образов и анализ сцен. М., "Мир", 1976.
10. Д.Пойя.Математика и правдоподобные рассуждения. М., ИЛ, 1957.
11. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью (психоэвристическое программирование).Под ред. акад.АН ГССР В.В.Чавчанидзе, "Мецниереба", Тбилиси, 1974, 21.
12. К.Якобс. Машины Тьюринга и случайные 0-1-последовательности. В кн. Машины Тьюринга и рекурсивные функции. "Мир", М., 1972, 183.
13. К.Якобс. Машиннопорожденные 0-1-последовательности. Там же, стр.216.
14. Blumenthal R.M., Getoor R.K., Markov Process and Potential Theory, Academic Press, 1969.
15. Breiman L., Probability, Reading /Mass., Addision - Wesley, 1968.

16. А.Н.Колмогоров. Основные понятия теории вероятностей. М.-Л., 1936.

17. А.Н.Колмогоров. Три подхода к определению понятия информация. Проблемы передачи информации, I, 1965, 3-11.

18. А.И.Колмогоров. К логическим основам теории информации и теории вероятностей. Проблемы передачи информации, 3, 1969, 3-7.

19. К.Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., ИЛ, 1963.

20. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью (психоэвристическое программирование).Под ред.акад.АН ГССР В.В.Чавчанидзе. "Мецниереба", Тбилиси, 1974, 41.

21. V.Chavchanidze. Actes du 6e Congres International de Cybernetique. Namure (Belgique), 1972, 186-206.

22. В.В.Чавчанидзе. Стохастические переключательные функции. Сообщения АН ГССР, 51, № 2, 1968.

23. В.В.Чавчанидзе. Основные соотношения аналитической теории алгебры высказываний. Сообщения АН ГССР, XXXIII, № I, 1964.

24. В.В.Чавчанидзе. Квантово-информационные переключательные функции. Сообщения АН ГССР, 58, № 2, 1970.

25. Д.Кнут. Искусство программирования для ЭВМ, т.II, гл.3, "Мир", М., 1977.

26. В.В.Чавчанидзе. Описание функционирования естественного интеллекта как задачи типа "блуждания" в бинарных дискретных пространствах. Сообщения АН ГССР, т.80,№ 2, 1975.

27. В.В.Чавчанидзе. Изв. АН СССР, серия физ., 19, 629, 1955.

28. В.В.Чавчанидзе. К вероятностно-концептуальным принципам организации памяти. ДАН, т.219, № 4, 1974.

29. Т.Г.Катамадзе, К.С.Квинихидзе, В.В.Чавчанидзе. Концептуальное описание идентичных белков на основании современных представлений об эволюции биологического кода. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (концептуальный подход), Тбилиси, 1976, 219.

30. К.С.Квинихидзе, В.В.Чавчанидзе. Концептуальный подход к описанию эволюции белковых структур. Сообщения АН ГССР, т.84, № 2, 1976.

31. Н.Л.Беручашвили, К.С.Квинихидзе, В.В.Чавчанидзе. Формирование концептов ландшафта на основе теории искусственного концептуального интеллекта. Сообщения АН ГССР,т.81, № I, 1976.

32. В.В.Чавчанидзе. Новый подход к проблеме трактовки ландшафта с точки зрения общей теории концептуальных систем. Материалы УI съезда Географического общества ГССР. Симпозиум "География в Грузинской ССР." Сб.докладов, вып.II, "Мецниереба", Тбилиси, 1975.

ГЛАВА II

ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

РАСШИРЕНИЕ АВТОМАТОВ

Авалишвили И., Беришвили Г.

Под автоматом мы понимаем систему, состоящую из двух множеств: множества состояний A и множества приказов B, и проекции $P: B \to A$. Таким образом, каждое состояние $a \in A$ получает свое множество $P^{-1}(a) = B_a$ приказов, приемлемых для состояния a. Классическое понятие автомата легко подпадает под предыдущее определение, если под B будем понимать произведение множества входов на множество состояний, а под A — множество состояний.

Чтобы докончить определение автомата, нужно еще одно отображение $q: B \to A$, указывающее состояние $q(b)$, в которое переходит автомат при помощи приказа b. Следовательно, получаем следующее

<u>Определение автомата</u>. Автомат - это два множества A и B и два отображения p и q из B в A. Множество A будем называть множеством состояний, множество B - множеством приказов; для состояния a множество всех прообразов $P^{-1}(a) = B_a$-приказы, приемлемые для состояния a, и $q(b)$ - состояние, результат применения приказа b.

Чтобы такой автомат работал, нужно задавать последовательность приказов $b_0, b_1, b_2, b_3 \ldots$ с условием $q(b_n) = p(b_{n-1})$. Начальное состояние для данной последовательности определяется как $p(b_0)$.

Такой автомат легко интерпретировать как граф со множеством вершин A и множеством стрелок B, $p(b)$ и $q(b)$ будут началом и концом стрелки b.

Если в автомате имеется два однотипных приказа, т.е. при-

емлемых для одного и того же состояния и дающих в результате одно и то же состояние, их можно отождествить и, таким образом, рассматривать графы, между вершинами которых могут быть самое большее две стрелки разного направления. Эта процедура отождествления означает, что множества $p^{-1}(b) \cap q^{-1}(b')$ можно довести до одноэлементных, если они не пусты.

Отображением автомата (A, B, p, q) в автомат (A', B', p', q') назовем:

1) отображение $f : A \longrightarrow A'$;

2) отображение g части B в B';

3) отображение оставшейся части B в A' (это последнее не получит специального обозначения, так как будет равно $fp = fq$), такое, что 1) в область определения q не входят только такие b (но, быть может, не все), для которых $fp(b) = fq(b)$;

2) диаграммы

$$\begin{tikzcd} B \supset \bullet \arrow[r, "g"] \arrow[d, "p"'] & B' \arrow[d, "p'"] \\ A \arrow[r, "f"'] & A' \end{tikzcd} \qquad \begin{tikzcd} B \supset \bullet \arrow[r, "g"] \arrow[d, "q"'] & B' \arrow[d, "q'"] \\ A \arrow[r, "f"'] & A' \end{tikzcd}$$

коммутативны, т.е. $p'q = fp$ и $q'g = fq$.

Множество $f^{-1}(a)$ и те приказы из B, которые не входят в область определения g и переходят в a, составляют подавтомат, который в дальнейшем будем именовать как прообраз состояния a.

Можно проверить, что мы получили категорию автоматов. В этой категории можно поставить и решить ряд проблем, но нас

будет интересовать только одна проблема расширения автоматов.

Определение. Автомат (A', B', p', q') и его отображение (f, g) в автомат (A, B, p, q) назовем расширением, если

1) f является сюрективным отображением, т.е. для всех a множество $f^{-1}(a)$ не пусто,

2) прообразы всех состояний изоморфны между собой. В соответствии с терминологией, заимствованной из алгебраической топологии, будем называть этот автомат слоем.

Два расширения одного и того же автомата назовем изоморфными, если существует изоморфизм, коммутирующий с расширяющими отображениями. Точнее, если

$$(A', B', p', q') \xrightarrow{f, g} (A, B, p, q)$$

и

$$(A'', B'', p'', q'') \xrightarrow{f', g'} (A, B, p, q)$$

два расширения, то изоморфизм автоматов

$$(A', B', p', q') \xrightarrow{f'', g''} (A'', B'', p'', q'')$$

будет изоморфизмом расширений, если

$$f' f'' = f \quad \text{и} \quad g' g'' = g.$$

Отсюда уже ясно, что у изоморфных расширений слои должны быть изоморфны.

В дальнейшем рассмотрим задачу: найти способ описания расширения при заданном автомате и заданном слое и найти критерий изоморфности соответствующих расширений. Иначе говоря, описать всевозможные неизоморфные расширения данного автомата при помощи данного слоя.

Пусть дано расширение автомата (A, B, p, q) со слоем (A', B', p', q')

$$\begin{array}{ccc} (A'', B'', p'', q'') & & \\ (f,g)\downarrow & & (A', B', p', q') \\ (A, B, p, q) & & \end{array}$$

Для каждого состояния a зададим изоморфизм (i_a, j_a) между слоем над a (прообразом состояния a) и слоем - эталоном $(A', B', p' q')$. Это значит, что мы получили возможность маркировать элементы прообраза a соответствующими элементами из эталона $(A', B', p' q')$: $i_a(a')$ или $j_a(b')$. Так как любое состояние расширения попадает в какой-то прообраз, то все состояния расширения описаны. Описаны также некоторые приказы, именно те, которые не попали в область определения отображения g. Остается описать область определения g. Каждый приказ b'' из области определения g имеет $p''(b'')$, который будет неким $i_a(a')$ и $q''(b'')$, а также неким $i_{a_1}(a'_1)$ (эти последние могут и совпадать). В частности,

$$a = f p''(b'') = p g(b'') \quad \text{и} \quad a_1 = f q''(b'') = q g(b'').$$

a' и a'_1 находятся при помощи соответствующих изоморфизмов.

Задание a и a_1 можно заменить заданием $g(b'')$ приказа автомата (A, B, p, q). Для данных a' и $b = g(b'')$ (именно b, а не b'') найдутся, быть может, разные a'_1, обозначим это множество через $h(a', b)$. Теперь мы в состоянии описать все приказы, приемлемые для состояния $i_a(a')$ автомата (A'', B'', p'', q''), т.е. множество $p''^{-1}(i_a(a'))$. Оно равно объединению $j_a(B'_{a'})$ и множества приказов из состояния $i_a(a')$ в состояния из $\bigcup_{g(b)} h(a', b)$ для всевозможных b из B_a. Данное расширение позволило нам найти отображение $h: A' \times B \longrightarrow$ подмножества A'.

Предположим теперь обратное: даны автомат (A, B, p, q) и будущий слой - эталон (A', B', p', q'), а также отображение $h: A' \times B \longrightarrow$ подмножества A.

Попытаемся при помощи этих данных построить расширение.

За состояния будущего расширения нужно взять $A'' = A \times A'$. Приказы будущего автомата будут двух видов:

$$p''^{-1}(a, a') = (A \times B') \cup \{(b, a', a'_1)\},$$

где $p(b) = a$ и $a'_1 \in h(a', b)$.

Определим теперь q''.

$$q''(a, b') = (a, q'(b'))$$

$$q''(b, a', a'_1) = (q(b), a'_1).$$

Легко проверить, что если мы захотим построить отображение расширения по предыдущему способу, взяв за изоморфизмы i_a вложения A' в $A \times A'$, то получим исходное отображение.

Если же по предыдущему способу построить отображение расширения, затем по полученному отображению восстановить расширение, изоморфное исходному, то

$$(a, a') \longrightarrow i_a(a')$$

$$(a, b') \longrightarrow j_a(b')$$

$$(b, a', a'_1) \longrightarrow b''; \quad i_{p(b)}(a') \text{ в } i_{q(b)}(a'_1)$$

Остается установить критерий эквивалентности двух отображений расширения.

<u>Теорема:</u> Для того чтобы два отображения

$$h: A' \times B \longrightarrow \text{подмножеству } A$$

$$h': A' \times B \longrightarrow \text{подмножеству } A'$$

давали изоморфные расширения, необходимо и достаточно существование отображений

$$k_a : A' \longrightarrow A \qquad \ell_a : B' \longrightarrow B',$$

таких, что

$$p'\ell_a = k_a p' \qquad q'\ell_a = k_a q'$$

$$h(a', b) = h'(k_{p(b)}(a'), b).$$

Предположим, что расширения, полученные при помощи h и h', изоморфны. Пусть этот изоморфизм задается следующим способом:

автомат при помощи h		автомат при помощи h'
(a, a')	$\longrightarrow$	$(a, k_a(a'))$
(a, b')	$\longrightarrow$	$(a, \ell_a(b'))$
(b, a', a'_1)	$\longrightarrow$	$(b, m_b(a', a'_1), n_b(a', a'_1))$.

Так как приказ (a, b') действует из состояния $(a, p'(b'))$ в состояние $(a, q'(b'))$, то приказ $(a, \ell_a(b'))$ должен действовать из $(a, k_a p'(b'))$ в $(a, k_a q'(b'))$, т.е.

$$p'\ell_a = k_a p' \quad \text{и} \quad q'\ell_a = k_a q'.$$

Таким же рассуждением для второго рода приказов получаем

$$m_b(a', a'_1) = k_{p(b)}(a')$$

$$n_b(a', a'_1) = k_{q(b)}(a'_1).$$

Последние равенства показывают, что m_b и n_b фактически с одним только аргументом и равны $k_{p(b)}$ и $k_{q(b)}$. Окончательно, существуют $k_a : A' \longrightarrow A'$ и $\ell_a : A' \longrightarrow A'$ отображения, такие, что

$$p'\ell_a = k_a p' \qquad q'\ell_a = k_a q'$$

$$h(a', b) = h'(k_{p(b)}(a'), b).$$

Теперь пусть заданы k_a и ℓ_a и построим изоморфизм расширений. Зададим этот изоморфизм следующим образом:

(a, a')	$\longrightarrow$	$(a, k_a(a'))$
(a, b')	$\longrightarrow$	$(a, \ell_a(b'))$
(b, a', a'_1)	$\longrightarrow$	$(b, k_{p(b)}(a'), k_{q(b)}(a'_1))$

Легко проверить, что полученное отображение - изоморфизм.

ОБ ИМИТАЦИИ ПОВЕДЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ НА ЭРГОДИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Л.В. Макаревич

Рассматривается возможность имитации поведения вероятностных систем на детерминированных системах со скрытым параметром. В качестве формальных объектов, уточняющих понятия вероятностных и детерминированных систем, выбраны соответственно конечный вероятностный автомат (КВА) и эргодическая машина (ЭМ). Определение КВА широко известно и может быть найдено, например, в /I – 3/. Общее понятие ЭМ введено недавно /4/. В данной статье используется менее общее определение. А именно, под ЭМ понимается система

$$\mathcal{E} = (\mathcal{X}, S, R, \delta, \lambda),$$

где $\mathcal{X}$ – конечный входной алфавит; S – конечное множество псевдосостояний ЭМ; $R = [0, 1)$ – полусегмент действительных чисел, δ – функция переходов $\mathcal{X} \times S \times R \Rightarrow S$; λ – функция переходов $R \Rightarrow R$. ЭМ может быть рассмотрена как детерминированный автомат с множеством состояний $S \times R$, состоящий из двух последовательно связанных частей: I) источника $\mathcal{J}$, представляющего собой автономный автомат с бесконечным множеством состояний R , 2) автомата $\mathfrak{A}$ с бесконечным входным алфавитом $\mathcal{X} \times R$ и множеством состояний S . Считается, что $\mathfrak{A}$ и $\mathcal{J}$ работают синхронно в дискретном времени. Работа ЭМ состоит в отображении слов (конечных последовательностей) в алфавите $\mathcal{X}$ в слова в алфавите S и зависит, в частности, от способа задания начального состояния ЭМ

$(s_0, q_0) \in S \times R$. Будем считать, что автомат $\mathfrak{A}$ инициален, а начальное состояние источника $\mathcal{J}$ определяется перед запуском ЭМ посредством равновероятного выбора $q_0 \in R$. Тогда с точки зрения экспериментатора, осведомленного о выборе (s_0, q_0), процесс вычисления на ЭМ является детерминированным процессом в том смысле, что в любой момент времени, отличный от начального, состояние ЭМ предопределено. В то же время с точки зрения экспериментатора, наблюдающего за входом и псевдосостояниями ЭМ, но лишенного возможности следить за состояниями источника, процесс вычисления на ЭМ имеет стохастический характер. Словосочетание "ЭМ со скрытым параметром" (ЭМСП) используется нами для обозначения именно такой ситуации.

Теорема I. Каждому КВА $\mathfrak{M}$ можно сопоставить ЭМСП, работа которой неотличима от работы $\mathfrak{M}$.

Установим предварительно следующее утверждение.

Теорема 2. Каждому бернуллиевскому процессу $\mathcal{B}(p_1, \dots, p_r)$ с r исходами и распределением вероятностей $p_1, \dots, p_r; \sum_i p_i = 1$ можно сопоставить ЭМСП $\mathcal{E}(\mathcal{B})$, работа которой неотличима от этого процесса.

Доказательство. В качестве входного алфавита $\mathcal{X}$ машины $\mathcal{E}(\mathcal{B})$ выберем некоторое одноэлементное множество $\mathcal{X} = \{x\}$ (автономная ЭМ). Пусть $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ – множество псевдосостояний машины $\mathcal{E}(\mathcal{B})$. Разбиваем множество состояний источника $\mathcal{J}$ на r полусегментов $R_k = [\sum_{i=1}^{k-1} p_i, \sum_{i=1}^{k} p_i)$, $k = \overline{1, r}$, и определим функцию переходов $\lambda(q)$ источника следующим образом:

$$\lambda(q) = p_k^{-1} \cdot (q - \sum_{i=1}^{k-1} p_i) \quad \text{для } q \in R_k,$$

(q) – линейная функция на каждом полусегменте R_k . Функ-

цию переходов δ определим так:

$$\delta(x, s_i, q) = s_k$$

для любого $s_i \in S$ и $q \in R_k$, $k = \overline{1,2}$.

Если машина $\mathfrak{E}$, установленная в момент времени $t=0$ в некоторое начальное состояние (s_{i_0}, q_{i_0}), проходит последовательно в моменты времени $t = 1, 2, \ldots, n, \ldots$ через псевдосостояния $s_{i_1}, s_{i_2}, \ldots, s_{i_n}, \ldots$, то будем говорить, что состояние источника q_{i_0} индуцирует слово $s_{i_1} s_{i_2} \ldots s_{i_n}$ длины n.

Каждому слову v в алфавите S сопоставим множество $G(v)$ состояний источника, индуцирующих это слово. Легко показать, что имеет место равенство

$$G(uv) = G(u) \cap \lambda^{-n} G(v), \qquad (1)$$

где uv обозначает сочленение слов u и v, n - длину слова u. Действительно, $G(uv) \subseteq G(u)$, т.к. слово uv начинается словом u. Вместе с этим $G(uv) \subseteq \lambda^{-n} G(v)$, т.к. в момент времени $t = n$ источник должен находиться в некотором состоянии $q_{i_0} \in G(v)$, а это возможно, если только в $t=0$ его состояние $q_{i_0} \in \lambda^{-n} G(v)$. Следовательно, $G(uv) \subseteq G(u) \cap \lambda^{-n} G(v)$. Теперь установим обратное включение. Пусть $q \in G(u) \cap \lambda^{-n} G(v)$ и m есть длина слова v. Тогда $q \in G(u)$ и, значит, q индуцирует слово u. Но $q \in \lambda^{-n} G(v)$, поэтому q индуцирует некоторое слово длины $m+n$, оканчивающееся словом v. Значит, q индуцирует слово uv, т.е. $q \in G(uv)$. Следовательно, $G(uv) \supseteq G(u) \cap \lambda^{-n} G(v)$. Отсюда получаем (1). Покажем, что для любого фиксированного $n = 1, 2, \ldots$

$$G(v) \text{ есть полусегмент;} \qquad (2)$$

$$G(v) \cap G(u) = \varnothing \text{ при } v \neq u \quad ; \qquad (3)$$

$$\bigcup_v G(v) = [0, 1), \qquad (4)$$

где объединение производится по всем словам длины n. Для $n=1$ свойства 2-4 выполняются, т.к. $G(s_k) = R_k$. Покажем, что если эти свойства имеют место для слов некоторой длины $n > 1$, то они выполняются и для слов длины $n+1$. Пусть zv, где $z \in S$, слово длины $n+1$. Тогда

$$\bigcup_{zv} G(zv) = \bigcup_{zv} \{G(z) \cap \lambda^{-1} G(v)\} = \{\bigcup_z G(z)\} \cap \{\bigcup_v \lambda^{-1} G(v)\} =$$

$$= [0,1) \cap \lambda^{-1}\{\cup G(v)\} = [0,1).$$

Пусть zv и tu, где $z, t \in S$, суть слова длины $n+1$ и $zv \neq tu$. Тогда либо $z \neq t$, либо $v \neq u$. Поэтому

$$G(zv) \cap G(tu) = G(z) \cap \lambda^{-1} G(v) \cap G(t) \cap \lambda^{-1} G(u) = \varnothing.$$

Если множество $G(v)$ является полусегментом, то, как легко видеть, множество $\lambda^{-1} G(v)$ есть объединение некоторых полусегментов $D_k(v)$, $k = \overline{1,2}$, причем $D_k(v) \subseteq R_k = G(s_k)$, $k = \overline{1,2}$. Следовательно, множество $G(zv)$, $z \in S$, представляет собой некоторый полусегмент, содержащийся в $G(z)$. Равновероятный выбор начального состояния q_{i_0} из множества $[0,1)$ означает, что для любого слова v вероятность $P(v)$ события $\{q_{i_0} \in G(v)\}$ равна длине $|G(v)|$ полусегмента $G(v)$. Эту вероятность естественно рассматривать и как вероятность того, что на выходе ЭМ будет индуцировано слово v.

Итак, по определению

$$P(v) = P\{q_{i_0} \in G(v)\} = |G(v)| .$$

Из (2)-(4) следует, что $P(v) > 0$ и $\sum_v P(v) = 1$, где сумма берется по всем словам определенной длины. Для произвольного слова $v = s_{i_1} s_{i_2} \dots s_{i_n}$, $n = 1, 2, \dots$

$$P(v) = P_{i_1} \cdot P_{i_2} \cdot \dots \cdot P_{i_n} . \qquad (5)$$

В самом деле, если слово состоит из одной буквы, то равенство (5) вытекает непосредственно из определения функции δ :

$$P(s_k) = |G(s_k)| = P_k .$$

Допустим, что (5) верно для любого слова фиксированной длины $n > 1$, и рассмотрим некоторое слово $s_{i_0} v$, $s_{i_0} \in S$, длины $n+1$.

$$P(s_{i_0} v) = |G(s_{i_0} v)| = |G(s_{i_0}) \cap \lambda^{-1} G(v)| =$$
$$= |G(s_{i_0}) \cap \{\bigcup_{k=1}^{2} D_k(v)\}| .$$

А т.к. $D_k(v) \subseteq G(s_k)$, $k = \overline{1,2}$, то

$$P(s_{i_0} v) = |D_{i_0}(v)| = |G(v)| \cdot ctg\,\alpha_{i_0} =$$
$$= |G(v)| \cdot P_{i_0} = P_{i_0} \cdot P_{i_1} \cdot \dots \cdot P_{i_n} .$$

По индукции заключаем, что (5) имеет место для слов произвольной длины. Поэтому экспериментатор, наблюдающий за псевдосостояниями ЭМПС, но которому состояния источника недоступны для наблюдения, отождествит работу ЭМСП с бернуллиевской последовательностью $B(P_1, P_2, \dots, P_n)$. Теорема 2 доказана.

Как известно, например из / 5 /, произвольную однородную марковскую цепь с конечным числом состояний можно представить в виде композиции подходящих бернуллиевского датчика и конечного детерминированного автомата. Используя этот простой факт

и теорему I, легко можно получить теорему 2.

Литература

I. М.О.Рабин. Вероятностные автоматы. Кибернетический сборник, вып. 9, 1964.

2. Paz A. Introduction to Probabilistic Automata, Academic Press, 1971.

3. А.А.Лоренц. Элементы конструктивной теории вероятностных автоматов. Рига, 1972.

4. Aggarwal S. The University of Michigan, Technical Report. No 184, 1975.

5. Davis A. Amer. Math., Monthly 68, 1961.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Кистаури Э.И., Гиоргадзе А.Х.

В данной работе сделана попытка использовать идеи декомпозиции автоматов /I-4/ в полумарковских процессах. Работе предшествовало исследование вопросов композиции и декомпозиции марковских цепей с непрерывным временем /5/.

Рассмотрим процесс марковского восстановления (ПМВ) $\{Z_n, V_n : n \geq 0\}$, определенный на вероятностном пространстве $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ и принимающий значения в $I \times T$, где $I = \{1, 2, 3, \dots\}$, $T = [0, +\infty)$, а V_{n+1} – время пребывания ПМВ в состоянии Z_n.

Допустим, что для всех $n, \beta \in I$; $t \in T$

$$P\{Z_{n+1} = \beta, V_{n+1} \leq t / Z_n, V_n\} = C_{Z_n \cdot \beta}(t),$$

где $C_{\alpha\beta}(t) = P_{\alpha\beta} F_{\alpha\beta}(t)$.

$P = (P_{\alpha\beta}; \alpha, \beta \in I)$ – стохастическая матрица вложенной цепи Маркова (ЦМ) $\{Z_n, n \geq 0\}$, а $F_{\alpha\beta}(t)$ – произвольные функции распределения, т.е. $F_{\alpha\beta}(0) = 0$, $F_{\alpha\beta}(+\infty) = 1$.

Пусть

$$\theta_0 = 0; \quad \theta_n = \sum_{k=1}^{n} V_k, \ n \geq 1; \quad \rho = \sum_{k=1}^{\infty} V_k$$

Определим для всех $0 \leq t \leq \rho$ процесс

$$Z_t = Z_n, \quad \text{если} \quad \theta_n \leq t < \theta_{n+1}.$$

Стохастический процесс $\{Z_t, \rho\}$ называют полумарковским процессом (ПМП), индуцированным ПМВ $\{Z_n, V_n\}$, а соответствующую матрицу $C(t) = (C_{\alpha\beta}(t); \alpha, \beta \in I)$ – ПМ-матрицей.

I. Об укрупнении состояний ПМП

В дальнейшем нам понадобятся следующие результаты, полученные в /6/ по укрупнению ПМВ и ПМП.

Лемма I.I. ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ допускает укрупнение состояний (укрупним) по разбиению π множества состояний I тогда и только тогда, когда

$$C_{\alpha\pi_j}(t) = C_{\beta\pi_j}(t); \quad \forall \alpha, \beta \in \pi_i; \ \pi_i, \pi_j \in \pi.$$

Если это так, то матрица $\tilde{C}_{ij}(t) = C_{\alpha\pi_j}(t)$, $\alpha \in \pi_i$ служит ПМ-матрицей укрупненного ПМВ $\{\tilde{Z}_n, V_n\}$.

Теорема I.I. ПМП $\{Z_t\}$ укрупним по разбиению π множества состояний I тогда и только тогда, когда для всех $\pi_i, \pi_j \in \pi$; $\alpha, \beta \in \pi_i$; $t \in T$, $H_{\alpha\pi_j}(t) = H_{\beta\pi_j}(t)$, где

$$H_{\alpha\gamma}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{\substack{\alpha_\nu \in \pi_i \\ \alpha_0 = \alpha}} C_{\alpha\alpha_1}^{*} C_{\alpha_1\alpha_2}^{*} \cdots C_{\alpha_{m-1}\gamma}.$$

Укрупненный ПМП $\{\tilde{Z}_t\}$ имеет ПМ-матрицу $\tilde{C}_{ij}(t) = H_{\alpha\pi_j}(t)$, $\alpha \in \pi_i$.

Следствие I.I. Пусть ПМП $\{Z_t\}$ индуцирован таким ПМВ, что $P_{\alpha\beta} = 0$, для всех $\alpha, \beta \in \pi_i$; $\pi_i \in \pi$, где π – некоторое нетривиальное разбиение множества состояний I, а P – стохастическая матрица вложенной ЦМ. При выполнении этих условий ПМП $\{Z_t\}$ укрупним тогда и только тогда, когда укрупним соответствующий ПМВ.

Приведем одно следствие, которое имеет применение при рассмотрении параллельной декомпозиции ПМВ и ПМП.

Следствие I.2. Если ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ укрупним по разбиению π, тогда для всех $\alpha, \beta \in \pi_i$; $\pi_i \in \pi$ имеет место равенство $\Phi_\alpha(t) = \Phi_\beta(t)$, где $\Phi_\gamma(t) = \sum_{\delta \in I} C_{\gamma\delta}(t)$ – функции распределения времен пребывания в состоянии

Справедливость следствия следует из леммы I.I.

2. Параллельная композиция ПМВ и ПМП

Пусть имеются ПМВ $\{X_n, V_n^1\}, \{Y_n, V_n^2\}$ с множествами состояний $I_1 \times T$, $I_2 \times T$, начальными распределениями $\tau = (\tau_j; j \in I_1)$, $q = (q_\ell; \ell \in I_2)$ и ПМ-матрицами $R(t)$ и $Q(t)$ соответственно, где $I_1, I_2 \subset I$; $R_{ij}(t) = \tau_{ij} N_{ij}(t)$ $Q_{k\ell}(t) = q_{k\ell} M_{k\ell}(t)$; $\tau_j = P\{X_0 = i\}$; $q_\ell = P\{Y_0 = \ell\}$.

Определение 2.I. Систему $\{(X_n, Y_n), (V_n^1, V_n^2)\}$ с множеством состояний $(I_1 \times I_2) \times (T \times T)$, начальным распределением $\tau \otimes q$ и переходной матрицей

$$L(t) = R(t) \otimes Q(t), \qquad (2.I)$$

где $I_1 \times I_2$, $\tau \otimes q$ и $L(t)$ - прямые произведения соответствующих множеств, векторов и матриц, назовем параллельной композицией ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$.

Лемма 2.I. Параллельная композиция ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$ есть двумерный ПМВ $\{(X_n, Y_n), (V_n^1, V_n^2)\}$.

Доказать лемму нетрудно, если учесть, что ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$ являются независимыми.

Рассмотрим ПМП $\{X_t\}$ и $\{Y_t\}$, порожденные ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$. Определение параллельной композиции этих ПМП аналогично определению 2.I.

Теорема 2.I. Параллельная композиция ПМП $\{X_t\}$ и $\{Y_t\}$ есть двумерный ПМП $\{X_t, Y_t\}$.

Доказательство теоремы следует из предыдущей леммы, так как параллельная композиция ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$ есть ПМВ $\{(X_n, Y_n), (V_n^1, V_n^2)\}$, а каждый из них порождает соответствующий ПМП.

3. Параллельная декомпозиция ПМВ и ПМП с одинаковыми функциями распределения времен пребывания во всех состояниях

Рассмотрим ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ с ПМ-матрицей $C(t) = (C_{\alpha\beta}(t); \alpha, \beta \in I)$. Из определения $C_{\alpha\beta}(t)$ имеем $P\{V_{n+1} \leq t / Z_n = \alpha, V_n\} = \sum_{\beta \in I} P\{Z_{n+1} = \beta, V_{n+1} \leq t / Z_n = \alpha, V_n\} = \sum_{\beta \in I} C_{\alpha\beta}(t)$. Характерной чертой для ПМВ и ПМП является то, что функция распределения времен пребывания во всех α состояниях $P\{V_{n+1} \leq t / Z_n = \alpha, V_n\}$ не обязательно показательная, как это имеет место для ЦМ с непрерывным временем. В этом параграфе мы будем изучать возможность параллельной декомпозиции таких ПМВ и ПМП, у которых упомянутые функции распределения произвольные (т.е. не обязательно показательные), однако не зависят от α $(\alpha \in I)$, т.е. $P\{V_{n+1} \leq t / Z_n = \alpha, V_n\} = P\{V_{n+1} \leq t / Z_n = \gamma, V_n\}$; $\forall \alpha, \gamma \in I$

Определение 3.I. Мы будем говорить, что ПМВ или ПМП являются подобными, если они имеют эквивалентные множества состояний, а ПМ-матрицами с точностью перестановки состояний служат $Q(t)$ и $\omega(t) \cdot Q(t)$, где $\omega(t) \in [0,1]$, $\forall t \in T$; $\omega(0) = 0$; $\omega(\infty) = 1$.

Если $\omega(t) = 1$, $\forall t \in T$, то будет иметь место обычный изоморфизм между упомянутыми ПМВ или ПМП, так что понятие изоморфизма ЦМ /7/ является частным случаем этого определения.

Если укрупнить по разбиениям

$$\mathcal{P} = \{\mathcal{P}_i; i \in I_1\}, \mathcal{P}_i = \{(i,k): k \in I_2\} \qquad (3.I)$$

и

$$\Psi = \{\Psi_k; k \in I_2\}, \Psi_k = \{(i,k): i \in I_1\} \qquad (3.2)$$

параллельную композицию $\{(X_n, Y_n), (V_n^1, V_n^2)\}$ двух ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$, то получим ПМВ, являющийся подобным ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$

и $\{Y_n, V_n^2\}$.

Заметим, что по определению в подобных ПМВ при $t=0$ и $t=\infty$ вероятности перехода из одного состояния в другое совпадают, а при всех остальных $t \in T \setminus \{0, +\infty\}$ отличаются друг от друга множителем $\omega(t)$.

Определение 3.2. Мы будем говорить, что ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ (ПМП $\{Z_t\}$) параллельно декомпозируется с покрытием на два ПМВ $\{X_n, V_n^1\}, \{Y_n, V_n^2\}$ (ПМП $\{X_t\}, \{Y_t\}$) с ПМ-матрицами $R(t)$, $Q(t)$ и множествами состояний I_1, I_2, если $I_1, I_2 \subset I$ и ПМВ $\{(X_n, Y_n), (V_n^1, V_n^2)\}$ (ПМП $\{(X_t, Y_t)\}$) отличается с точностью подобия от исходного ПМВ (ПМП) только некоторым подмножеством невозвратных состояний. В частном случае, если множества I и $I_1 \times I_2$ эквивалентны, то будет иметь место параллельная декомпозиция без покрытия.

Теорема 3.I. Для того чтобы ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ параллельно декомпозировался без покрытия на два ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$ и $\{Y_n, V_n^2\}$ с множествами состояний I_1, $I_2 = \{1, 2, \ldots, m\} \subset I$, $m > 1$, необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

I) ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ укрупним по разбиениям

$$\pi = \{\pi_i;\ i \in I_1\},\ \pi_i = \{(i-1)m + \gamma;\ \gamma \in I_2\} \quad (3.3)$$

и

$$\tau = \{\tau_k;\ k \in I_2\},\ \tau_k = \{(i-1)m + k;\ i \in I_1\}. \quad (3.4)$$

2) $\forall\ \pi_j \in \pi;\ \tau_\ell \in \tau;\ \alpha \in I$

$$C_{\alpha \pi_j}(t)\, C_{\alpha \tau_\ell}(t) = \Phi(t)\, C_{\alpha \pi_j \tau_\ell}(t) \quad (3.5)$$

Доказательство. Необходимость. Согласно определению 3.2, $I_1 \times I_2 \Leftrightarrow I$

и

$$L(t) = \Phi(t)\, C(t) = \Phi(t) R(t) \otimes Q(t), \quad (3.6)$$

где $L(t)$ - ПМ-матрица параллельной композиции, откуда

$$L_{(i,k)(j,\ell)}(t) = \Phi(t) R_{ij}(t) Q_{k\ell}(t). \quad (3.7)$$

Разобьем множества $I_1 \times I_2$ по (3.I) и (3.2). Так как $I_1 \times I_2 \leftrightarrow I$, то, сопоставляя каждой паре $(i, k) \in I_1 \times I_2$ элемент из I, устанавливаем взаимнооднозначное соответствие между I и $I_1 \times I_2$. С учетом этого соответствия подмножества $\Phi_i = \{(i,1), (i,2), \ldots, (i,m)\}$, $i \in I_1$ порождают разбиения

$$\pi = \{\pi_i = \{(i-1)m+1, (i-1)m+2, \ldots, (i-1)m+m\};\ i \in I_1\}, \quad (3.8)$$

а

$$\Psi_k = \{(1,k), (2,k), \ldots\},\ k \in I_2$$

$$\tau = \{\tau_k = \{(1-1)m+k, (2-1)m+k, (3-1)m+k, \ldots, (i-1)m+k, \ldots\};\ k \in I_2 \quad (3.9)$$

$\pi_i \tau_k = \{(i-1)m+1, (i-1)m+2, \ldots, (i-1)m+m\} \cap \{k, m+k, \ldots, (i-1)m+k, \ldots\} = (i-1)m+k$. Следовательно, пересечение блоков разбиения π и τ есть одноэлементное множество, принадлежащее I. Разбиения (3.8) и (3.9) совпадают с (3.3) и (3,4). Если $\alpha = \pi_i \tau_k$, $\beta = \pi_j \tau_\ell$ то из (3.6) и (3.7) следует

$$L_{(i,k),(j,\ell)}(t) = \Phi(t) C_{\pi_i \tau_k, \pi_j \tau_\ell}(t) = \Phi(t) R_{ij}(t) Q_{k\ell}(t) \quad (3.9)$$

откуда

$$R_{ij}(t)\, q(t) = \sum_{\gamma \in \pi_j} C_{\alpha\gamma}(t) = \sum_{\{\ell:\ \tau_\ell \in \tau\}} C_{\pi_i \tau_k, \pi_j \tau_\ell}(t) \quad (3.10)$$

и

$$Q_{k\ell}(t)\, r(t) = \sum_{\gamma \in \tau_\ell} C_{\alpha\gamma}(t) = \sum_{\{j:\ \pi_j \in \pi\}} C_{\pi_i \tau_k, \pi_j \tau_\ell}(t) \quad (3.11)$$

Из (3.I0) и (3.II) следует укрупняемость ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ по (3.3) и (3.4).

Перемножим (3.I0) и (3.II). Тогда с учетом (3.7) получим

$$\sum_{\gamma \in \pi_j} C_{\alpha\gamma}(t) \sum_{\gamma \in \tau_\ell} C_{\alpha\gamma}(t) = R_{ij}(t) Q_{k\ell}(t) q(t) r(t) = C_{\alpha \pi_j \tau_\ell}(t)\, q(t) r(t) =$$

$= \Phi(t)\, C_{\alpha \pi_j \tau_\ell}(t)$, так как $\Phi(t) = q(t) r(t)$.

Достаточность. Построим, согласно лемме I.I, с укрупнением состояний ПМВ $\{Z_n, V_n\}$ по π, τ ПМВ $\{X_n, V_n^1\}$, $\{Y_n, V_n^2\}$ с множествами состояний π, τ и ПМ-матрицами $C_\pi(t)$, $C_\tau(t)$. Осуществим их параллельную композицию и докажем, что полученный ПМВ $\{(X_n,Y_n),(V_n^1,V_n^2)\}$ является подобным исходному ПМВ $\{Z_n, V_n\}$. Так как $\pi_i\tau_k=(i-1)m+k$, то, если приписать каждой паре $(\pi_i,\tau_k)\in\pi\times\tau$ номер $\pi_i\tau_k$, можно установить взаимооднозначное соответствие между $\pi\times\tau$ и I, т.е. $\pi\times\tau\Leftrightarrow I$.

$$P\{(X_{n+1},Y_{n+1})=(\pi_j,\tau_\ell),(V_{n+1}^1,V_{n+1}^2)\leqslant(t,t)/(X_n,Y_n)=(\pi_i,\tau_k),(V_n^1,V_n^2)\}=$$
$$=P\{X_{n+1}=\pi_j,(V_{n+1}^1,V_{n+1}^2)\leqslant(t,t)/(X_n,Y_n)=(\pi_i,\tau_k),(V_n^1,V_n^2)\}\times$$
$$\times P\{Y_{n+1}=\tau_\ell,(V_{n+1}^1,V_{n+1}^2)\leqslant(t,t)/(X_n,Y_n)=(\pi_i,\tau_k),(V_n^1,V_n^2),X_{n+1}=\pi_j\}=$$
$$P\{X_{n+1}=\pi_j,V_{n+1}^1\leqslant t/X_n=\pi_i,V_n^1\}P\{Y_{n+1}=\tau_\ell,V_{n+1}^2\leqslant t/Y_n=\tau_k,V_n^2\}=$$
$$=P\{Z_{n+1}\in\pi_j,V_{n+1}^1\leqslant t/Z_n\in\pi_i,V_n^1\}P\{Z_{n+1}\in\tau_\ell,V_{n+1}^2\leqslant t/Z_n\in\tau_k,V_n^2\}=$$
$$=P\{Z_{n+1}\in\pi_j,V_{n+1}^1\leqslant t/Z_n=\pi_i\tau_k,V_n^1\}P\{Z_{n+1}\in\tau_\ell,V_{n+1}^2\leqslant t/Z_n=\pi_i\tau_k,V_n^2\}=$$
$$=C_{\alpha\pi_j}(t)\,C_{\alpha\tau_\ell}(t)=\Phi(t)\,C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t)=\Phi(t)\,C_{\alpha\beta}(t),$$

где $\alpha=\pi_i\tau_k$, $\beta=\pi_j\tau_\ell\in I$.

Теорема 3.2. Пусть имеется ПМП $\{Z_t\}$ с ПМ-матрицей $C(t)=(C_{\alpha\beta}(t)=P_{\alpha\beta}F_{\alpha\beta}(t);\alpha,\beta\in I)$ при котором

$$P_{\alpha\beta}=0;\ \forall\alpha,\beta\in\pi_i;\ \pi_i\in\pi;\ P_{\gamma\delta}=0;\ \forall\gamma,\delta\in\tau_k;\ \tau_k\in\tau, \quad (3.12)$$

где π и τ - разбиения (3.3) и (3.4). Для того, чтобы этот ПМП допускал параллельную декомпозицию без покрытия на два ПМП $\{X_t\}$ и $\{Y_t\}$ с множествами состояний $I_1,I_2=\{1,2,\dots,m\}\subset I$, $m>1$, необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

I) ПМП $\{Z_t\}$ укрупним по (3.3) и (3.4);

2) $\forall\pi_j\in\pi;\ \tau_\ell<\tau;\ \alpha\in I$

$$C_{\alpha\pi_j}(t)\,C_{\alpha\tau_\ell}(t)=\Phi(t)\,C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t)$$

Теорема доказывается аналогично предыдущей теореме, если учесть следствие I.I и (3.12)

Теорема 3.3. Для того, чтобы ПМВ $\{Z_n,V_n\}$ с множеством состояний I и ПМ-матрицей $C(t)$ допускал параллельную декомпозицию с покрытием на два ПМВ $\{X_n,V_n^1\}$, $\{Y_n,V_n^2\}$ с множествами состояний $I_1,I_2\subset I$, необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

I) ПМВ $\{Z_n,V_n\}$ допускает укрупнения состояний по некоторым нетривиальным разбиениям π и τ;

2) $|\pi_i\tau_k|\leqslant 1$; $\forall\pi_i\in\pi$, $\tau_k\in\tau$;

3) $\forall\pi_j\in\pi$; $\tau_\ell\in\tau$; $\alpha\in I$

$$C_{\alpha\pi_j}(t)\,C_{\alpha\tau_\ell}(t)=\Phi(t)\,C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t).$$

Доказательство. Необходимость. Пусть ПМ-матрицами $\{X_n,V_n^1\}$, $\{Y_n,V_n^2\}$ являются $R(t)$, $Q(t)$. Рассмотрим подмножество $\bar I_1\times\bar I_2$ множества $I_1\times I_2$, такое, что $(I_1\times I_2)\setminus(\bar I_1\times\bar I_2)$ содержит только невозвратные состояния, а $\bar I_1\times\bar I_2\Leftrightarrow I$. Согласно определению 3.2, $\bar I_1\times\bar I_2$ определяет ПМВ, подобный $\{Z_n,V_n\}$.

Рассмотрим разбиения подмножества $\bar I_1\times\bar I_2$:

$$\Phi=\{\varphi_i;\ i\in I_1\},\ \varphi_i=\{(i,k):(i,k)\in\bar I_1\times\bar I_2;\ k\in I_2\} \quad (3.13)$$

и

$$\Psi=\{\psi_k;\ k\in I_2\},\ \psi_k=\{(i,k):(i,k)\in\bar I_1\times\bar I_2;\ i\in I_1\} \quad (3.14)$$

С помощью взаимооднозначной функции Θ, где $\Theta(\varnothing)=0$,

$\varnothing$ - пустое множество и $\Theta(i,\kappa)=\alpha$; $(i,\kappa)\in \bar{I}_1\times\bar{I}_2$, $\alpha\in I$, установим соответствие между эквивалентными множествами I и $\bar{I}_1\times\bar{I}_2$; тогда (3.I3) и (3.I4) определяют разбиение множества I:

$$\pi=\{\pi_i;\ i\in I_1\},\ \pi_i=\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\varphi_i\} \quad (3.I5)$$

и

$$\tau=\{\tau_\kappa;\ \kappa\in I_2\},\ \tau_\kappa=\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\psi_\kappa\} \quad (3.I6)$$

Очевидно, что $\varphi\Leftrightarrow\pi$ и $\psi\Leftrightarrow\tau$.

$\varphi_i\psi_\kappa=\{(i,\kappa):(i,\kappa)\in\bar{I}_1\times\bar{I}_2;\kappa\in I_2\}\cap\{(i,\kappa):(i,\kappa)\in\bar{I}_1\times\bar{I}_2;\ i\in I_1\}=(i,\kappa)$, если $(i,\kappa)\in\bar{I}_1\times\bar{I}_2$ и $\varphi_i\psi_\kappa=\varnothing$ в противном случае. Согласно (3.I5) и (3.I6) имеем: $\pi_i\tau_\kappa=\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\varphi_i,(i,\kappa)\in\psi_\kappa\}=\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\varphi_i\psi_\kappa\}=$ $=\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\varphi_i\psi_\kappa\}$, следовательно, $|\pi_i\tau_\kappa|=|\Theta(i,\kappa)|=$ $=|\varphi_i\psi_\kappa|\leqslant 1$, при этом $\Theta(i,\kappa),\pi_i\tau_\kappa\in I$, поэтому в качестве Θ можно взять $\Theta(i,\kappa)=\pi_i\tau_\kappa$, т.е. $\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\varphi_i\}=\{\pi_i\tau_\kappa:\tau_\kappa\in\tau\}$ и $\{\Theta(i,\kappa):(i,\kappa)\in\psi_\kappa\}=\{\pi_i\tau_\kappa:\pi_i\in\pi\}$. Для $(i,\kappa),(j,\ell)\in\bar{I}_1\times\bar{I}_2$, согласно определению (3.2) и (2.3), имеют место (3.6) и (3.7), откуда

$$L_{(i,\kappa),(j,\ell)}(t)=\Phi(t)C_{\alpha\beta}(t)=\Phi(t)C_{\pi_i\tau_\kappa,\pi_j\tau_\ell}(t)=\Phi(t)R_{ij}(t)Q_{\kappa\ell}(t), \quad (3.I7)$$

а из (3.I0) и (3.II) следует укрупняемость ПМВ $\{Z_n,V_n\}$ по (3.I5) и (3.I6).

Пусть $(i,\kappa),(j,\ell)\in\bar{I}_1\times\bar{I}_2$, тогда, если перемножить (3.I0) и (3.II), с учетом формул (3.7) имеем

$$\sum_{\gamma\in\pi_j}C_{\alpha\gamma}(t)\sum_{\gamma\in\tau_\ell}C_{\alpha\gamma}(t)=R_{ij}(t)Q_{\kappa\ell}(t)q(t)\tau(t)=C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t)\times$$
$$\times q(t)\tau(t)=\Phi(t)C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t),$$ так как $\Phi(t)=\tau(t)q(t)$.

Достаточность. Пусть условия теоремы выполняются. Построим с укрупнением состояний ПМВ $\{Z_n,V_n\}$ по π,τ ПМВ $\{X_n,V_n^1\}$, $\{Y_n,V_n^2\}$ с множествами состояний π, τ и

ПМ-матрицами $C_\pi(t),C_\tau(t)$. Выделим из $\pi\times\tau$ подмножество $\bar{\pi}\times\bar{\tau}$, состоящее из таких элементов (π_i,τ_κ), что $\pi_i\tau_\kappa\in I$ (это обеспечивается условиями $|\pi_i\tau_\kappa|\leqslant 1$). Докажем, что выделенное подмножество $\bar{\pi}\times\bar{\tau}$ определяет ПМВ, подобный $\{Z_n,V_n\}$. Так как $\forall(\pi_i,\tau_\kappa)\in\pi\times\tau,\pi_i\tau_\kappa\in I$ и при этом $|\pi_i\tau_\kappa|\leqslant 1$, то $\bar{\pi}\times\bar{\tau}\Leftrightarrow I$. Остальная часть доказывается так же, как в теореме 3.I.

Теорема 3.4. Пусть имеется ПМП $\{Z_t\}$ с множеством состояний I и ПМ-матрицей $C(t)=(C_{\alpha\beta}(t)=P_{\alpha\beta}F_{\alpha\beta}(t);\alpha,\beta\in I)$, при этом имеют место (3.II) для некоторых нетривиальных разбиений π и τ. Для того чтобы этот ПМП параллельно декомпозировался с покрытием на ПМП $\{X_t\}$, $\{Y_t\}$ с множествами состояний $I_1,I_2=\{1,2,\dots,m\}\subset I$, $m>1$, необходимо и достаточно выполнение следующих условий:

I) ПМП допускает укрупнения состояний по π и τ;

2) $\forall\ \pi_j\in\pi$; $\tau_\ell\in\tau$; $\alpha\in I$

$$C_{\alpha\pi_j}(t)\,C_{\alpha\tau_\ell}(t)=\Phi(t)\,C_{\alpha\pi_j\tau_\ell}(t).$$

Доказательство. Необходимость. Допустим, что ПМ-матрицами ПМП $\{X_t\}$ и $\{Y_t\}$ являются $R(t)$ и $Q(t)$. Согласно определению 3.2 существует подмножество $\bar{I}_1\times\bar{I}_2$ множества $I_1\times I_2$, такое, что $(I_1\times I_2)\setminus(\bar{I}_1\times\bar{I}_2)$ содержит только невозвратные состояния, $\bar{I}_1\times\bar{I}_2\Leftrightarrow I$ и $\bar{I}_1\times\bar{I}_2$ определяет ПМП, подобный $\{Z_t\}$. Разобьем $\bar{I}_1\times\bar{I}_2$ по (3.I3) и (3.I4). Введем, как при доказательстве теоремы 3.3, функцию Θ, которая порождает разбиения (3.I5) и (3.I6) множества I. Из условий (3.I2) и следствий I.I выполнение условий I) и 2) доказывается аналогично теореме 3.3.

Достаточность очевидна, если учесть теорему 3.3.

Литература

1. J.Hartmanis, R.E.Stearns. The Algebraic Structure Theory of Sequential Machines. Prentis Hall, 1966.
2. G.Bacon. Inf. and Control, 7, 1964.
3. Гиоргадзе А.Х. ДАН, т.232, № 4, 1977.
4. Гиоргадзе А.Х., Джебашвили Т.Л. Сообщения АН ГССР, т.76, № 2, 1974.
5. Кистаури Э.И. "Кибернетика" № 4, Киев, 1977.
6. R.F.Serfoso. J.Appl. Math. 20,3, 1971.
7. A.Paz. Introduction to Probabilistic Automata, N.-Y., London, Academic Press, 1971.

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ НА КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТАХ

Матевосян А.А.

В данной статье рассматривается вопрос о реализуемости автоматных вероятностных отображений на клеточных автоматах. В рамках концепции реализации с растяжением тактности [I] предлагается несколько универсальных конструкций клеточных автоматов, реализующих те или иные классы вероятностных отображений. При этом приводятся оценки соответствующих сложностных и временных затрат.

Результаты, которые будут изложены, опубликованы в [2 - 6].

Вероятностные отображения. Алфавитами будем называть конечные непустые множества символов. Применительно к произвольному алфавиту Σ всюду в дальнейшем конечные последовательности символов из Σ будем называть словами, Σ^{τ} будет обозначать множество слов длины τ, а Σ^{*} - множество всех слов.

Пусть X и Y - алфавиты, элементы которых соответственно будем называть входными и выходными буквами.

Определение I. Отображение $\mathcal{L}$ множества $\bigcup_{\tau=1}^{\infty}(X^{\tau}\times Y^{\tau})$ в отрезок $[0,1]$ будем называть вероятностным отображением множества X^{*} в множество Y^{*} (или оператором, заданным над алфавитами X и Y), если для произвольного $\tau(\tau=1,2,\dots)$ и любого входного слова $u\in X^{\tau}$ отображение $\mathcal{L}$ удовлетворяет условию $\sum_{v\in Y^{\tau}}\mathcal{L}(v/u)=1$.

Объектом наших дальнейших рассмотрений будет класс вероятностных отображений, реализуемых стохастическими последовательностными машинами (СПМ).

Определение 2. СПМ M определяется заданием пятерки $\langle Q,X,Y,P,\pi\rangle$, где $Q X,Y$ - алфавиты, элементы которых называются соответственно состояниями, входными буквами и выходными буквами; P - функция условной вероятности, являющаяся отображением множества $X\times Q^2\times Y$ в отрезок $[0;1]$, удовлетворяющим условию

$$\sum_{q'\in Q}\sum_{y\in Y} P(q',y/x,q)=1 \quad (x\in X;\ q\in Q);$$

π - распределение на Q, называемое начальным распределением; $\sum_{q\in Q}\pi(q)=1$.

Вероятностное отображение, реализуемое СПМ $M=\langle Q,X,Y,P,\pi\rangle$, определяется как

$$\mathcal{L}_M(v/u)=\sum_{q'\in Q}\sum_{q\in Q}\pi(q)F(q',v/u,q)$$

$$(u\in X^r;\ v\in Y^r;\ r=1,2,\dots),$$

где функция условной вероятности F задается следующей рекуррентной схемой:

(i) $F(q,\Lambda/\Lambda,q)=1$, (Λ - пустое слово);

(ii) $F(q',vy/ux,q)=\sum_{q''\in Q}F(q'',v/u,q)\cdot P(q',y/x,q'')$.

2. Клеточные автоматы. d-мерный клеточный вероятностный автомат конструируется из счетного числа точных копий некоторого конечного вероятностного автомата (КВА), помещенных в вершины бесконечной d-мерной целочисленной решетки.

Определение 3. КВА A задается тройкой $\langle\Sigma,S,\varphi\rangle$, где Σ, S - алфавиты, элементы которых называются входными буквами и состояниями; φ - функция переход-

ных вероятностей - отображение $\Sigma\times S^2$ в отрезок $[0;1]$ удовлетворяющее условию $\sum_{s'\in S}\varphi(s'/\sigma,s)=1$, $(\sigma\in\Sigma,\ s\in S)$.

Ниже будет предполагаться, что $\Sigma=S^n$. Это будет интерпретироваться как наличие у автомата A n упорядоченных входных каналов. Таким образом, будем считать, что у автомата A имеется выходной канал, на который в процессе функционирования автомата поступают его текущие состояния.

Пусть E^d есть множество всевозможных d-мерных целочисленных векторов. Множество $\Omega=\{A_\alpha\mid\alpha\in E^d\}$ точных копий некоторого КВА A, которым сопоставлены элементы множества E^d, назовем множеством клеток, а его элементы - клетками. Индекс α клетки A_α задает ее координаты в пространстве.

Клеточный автомат есть композиция множества клеток Ω, определяемая заданием соседства.

Определение 4. Пусть Ω есть d-мерное множество клеток. Индекс соседства определяется как конечное упорядоченное подмножество $\bar{N}=(\alpha_1,\alpha_2,\dots,\alpha_n)$ элементов E^d. Множество $N=\{\vec{0},\alpha_1,\dots,\alpha_n\}$ будем называть шаблоном соседства. Нулевой вектор $\vec{0}\in E^d$ назовем центром шаблона соседства. Множество клеток $\{A_\beta\mid\beta=\alpha+\alpha_i;\ i=\overline{1,n}\}$ образует соседство клетки A_α. Входной канал i A_α клетки присоединяется к выходному каналу клетки $A_{\alpha+\alpha_i}$, $i=\overline{1,n}$.

В конструкциях, описанных в данной статье, используется шаблон соседства Неймана [7]:

$$N=\{\alpha=(a_1,a_2,\dots,a_d)\mid\sum_{i=1}^{d}|a_i|=1\}$$

Определение клеточного вероятностного автомата завершим следующим существенным ограничением на функцию переходных вероятностей клеток $\mathcal{P}$. Будем требовать, чтобы для некоторого состояния $s_0 \in S$, называемого пассивным состоянием клеток, $\mathcal{P}(s_0/s_0,\dots,s_0)=1$. Иными словами, клетка, пребывающая в пассивном состоянии, сохраняет его, если ее ближайшие соседи также находятся в пассивном состоянии. Тем самым обеспечивается конечность области активности в клеточном пространстве в процессе его функционирования, если она была таковой в начальный момент времени.

Определение 5. Клеточный автомат Z определяется заданием тройки $\langle A, d, N\rangle$, где A - КВА, d - размерность клеточного пространства; N - шаблон соседства.

Пусть $\Omega=\{A_\alpha\}$ есть множество клеток клеточного автомата Z и пусть S есть множество состояний клетки. Произвольное отображение $c:\Omega\to S$ называется конфигурацией в клеточном автомате Z. $c(A_\alpha)$ означает, что в конфигурации c клетка A_α находится в состоянии s. Обозначим через C множество всех конфигураций, в которых только лишь конечное множество клеток может находиться в состояниях, отличных от пассивного состояния s_0. $c_0\in C$ будет обозначать конфигурацию, задаваемую в Z в начальный момент времени.

3. Реализация вероятностных отображений на клеточных автоматах. Пусть $\mathcal{L}$ есть вероятностный оператор над алфавитами X и Y, а $Z=\langle A,d,N\rangle$-некоторый клеточный вероятностный автомат с заданной в нем начальной

конфигурацией $c_0\in C$. Выделим в клеточном пространстве Z две конечные области U и R. Упорядоченную последовательность клеток, составляющих область U, назовем входом клеточного автомата Z, упорядоченную же последовательность выходных каналов клеток, составляющих область R,- выходом автомата Z.

Клеточный автомат Z с заданной в нем начальной конфигурацией c_0 представляет собой автономную систему и в процессе функционирования состояния его клеток, в том числе и тех, которые образуют входную область U, формируются без внешней стимуляции. Однако мы закрепим за собой право в некоторые подходящие моменты времени (в какие именно уточним позднее) извне настраивать входную область U. Это нами будет интерпретироваться как подача на вход клеточного автомата Z той или иной входной буквы.

В множестве состояний входа U клеточного автомата Z выделим некоторое непустое подмножество $\tilde{S}_X\subset S^{|U|}$ *), такое, что $|\tilde{S}_X|=|X|$, и установим одно-однозначное соответствие между элементами множеств X и $\tilde{S}_X$. Множество $\tilde{S}_X$ будем называть входным алфавитом клеточного автомата Z, а его элементы - входными буквами. Аналогично в множестве состояний выхода R выделяется непустое подмножество $\tilde{S}_Y\subset S^{|R|}$, такое, что $|\tilde{S}_Y|=|Y|$, и устанавливается одно-однозначное соответствие между элементами Y и $\tilde{S}_Y$. Это подмножество объявляется выходным алфавитом автомата Z, а его элементы - соответственно выходными буквами. В дальнейшем пары множеств X, $\tilde{S}_X$ и Y, $\tilde{S}_Y$, а также их соот-

*) Для произвольного множества X через $|X|$ обозначается мощность этого множества.

ветственные элементы будут отождествляться.

Используем клеточный автомат Z для вероятностного отображения множества X^* в множество Y^*, установив следующее правило введения слов.

Пусть требуется преобразовать слово $x_1x_2\dots x_r \in X^*$. В начальный момент времени t_0 входная область U клеточного автомата Z устанавливается в состояние x_1, после чего автомат Z запускается. В последующие такты на вход автомата Z ничего не подается, пока на его выходе впервые не появится какая-либо буква $y_1 \in Y$. Пусть это произошло в момент времени t'. Тогда в момент времени $t'+1$ вход U клеточного автомата переводится в состояние x_2, после чего на U опять ничего не подается, пока на выходе R автомата в некоторый момент времени $t'' > t'$ не появится какая-либо буква $y_2 \in Y$. Далее, в момент времени $t''+1$ на вход клеточного автомата Z подается буква x_3 и т.д. Допустим, что, следуя описанной процедуре, удалось ввести в клеточный автомат Z последнюю букву x_r заданного слова и получить на выходе какую-либо выходную букву y_r. Тогда будем говорить, что слово $x_1x_2\dots x_r$ введено в автомат Z и отображено в выходное слово $y_1y_2\dots y_r$.

Заметим, что даже после введения последней буквы x_r мы не можем, вообще говоря, с достоверностью утверждать, что процедура введения слова когда-либо завершится. Например, введение очередной входной буквы может привести к такой ситуации в клеточном пространстве, когда переход возникшей конфигурации в одну из конфигураций, дающих на выходе какую-либо букву $y \in Y$, уже невозможен.

Предположим, однако, что в клеточный автомат Z может быть введено любое слово из X^*. Это означает, что после введения любой буквы произвольного входного слова с вероятностью, равной единице, через конечное число тактов на выходе клеточного автомата появится какая-либо буква из Y. Тогда для любого входного слова $u \in X^r$ и любого выходного слова $v \in Y^r$ ($r = 1, 2, \dots$) вполне однозначно определяется вероятность того, что клеточный автомат Z отобразит слово u в слово v. Тем самым определяется некоторое вероятностное отображение множества X^* в множество Y^*. Если им окажется заданное ранее отображение $\mathcal{L}$, будем говорить, что клеточный вероятностный автомат реализует с растяжением вероятностное отображение $\mathcal{L}$.

В общем случае на выходе клеточного автомата могут вырабатываться и те буквы, которые не принадлежат множеству Y. Их появление будет интерпретироваться как паузы между моментами подачи на вход клеточного автомата буквы из X и получения на его выходе ответной буквы из Y. Число пауз между этими двумя моментами есть случайная величина, зависящая от конфигурации c в клеточном пространстве в момент подачи входной буквы и от поданной на вход буквы $x \in X$. Обозначим эту случайную величину через $\xi(c, x)$, а ее математическое ожидание - через $T(c, x)$. Пусть

$$T(Z, c_0) = \max_c \max_{x \in X} T(c, x),$$

где $\max_c$ берется по всем тем конфигурациям, которые имеют положительную вероятность возникновения в клеточном пространстве Z в процессе отображения того или иного входного слова и вместе с тем дают на выходе букву из Y.

Будем говорить, что клеточный автомат Z реализует

вероятностное отображение $\mathcal{L}$ с растяжением $T(Z, c_0)$.

Под сложностью $L(Z, c_0)$ реализации клеточным автоматом Z отображения $\mathcal{L}$ будем подразумевать площадь (число клеток) той минимальной области в клеточном пространстве, за пределами которой в процессе отображения произвольного входного слова все клетки остаются в пассивном состоянии.

Введем еще две сложностные характеристики реализации - сложности входной и выходной областей, определяемые соответственно как $L^{(U)} = |U|$ и $L^{(R)} = R$.

4. G-универсальный клеточный автомат. Оператор $\mathcal{L}$, заданный над алфавитами X и Y, назовем рациональным вероятностным оператором (РВО), если для произвольной пары слов u и v ($u \in X^*$, $v \in Y^*$) $\mathcal{L}(v/u)$ есть рациональное число.

Пусть G обозначает класс всех (или некоторый подкласс) РВО. Клеточный автомат Z назовем G-универсальным, если путем надлежащего выбора начальной конфигурации, входа, выхода, входного алфавита и выходного алфавита на нем можно реализовать любой оператор из класса G.

Наличие G-универсального клеточного автомата будет предполагать эффективность его описания и способа реализации, следуя которому для реализации того или иного оператора из G задается начальная конфигурация, выделяются входная и выходная области, выбираются входной и выходной алфавиты.

Пусть $M = \langle Q, X, Y, P, \pi \rangle$ есть СПМ с рациональной функцией условной вероятности P. Для произвольных $x \in X$ и $q \in Q$ через $\ell(x, q)$ обозначим наименьший общий знаменатель чисел $P(q', y / x, q)$, где $q' \in Q$.

Определение 6. Вероятностный оператор $\mathcal{L}_M \in G$, задаваемый машиной $M = \langle Q, X, Y, P, \pi \rangle$, назовем (m, n, κ, ℓ) - оператором, если $|X| = m$, $|Y| = n$, $|Q| = \kappa$ и $\ell = \max\limits_{x \in X} \max\limits_{q \in Q} \ell(x, q)$.

Применительно к операторам, задаваемым автономными СПМ ($m = 1$), будем использовать термин "(n, κ, ℓ)- оператор".

(n, κ, ℓ) -оператор $\mathcal{L}$ будем называть (n, ℓ) - последовательностью, если $n = \kappa$ и для любого r $\mathcal{L}(y_1 y_2 \cdots y_r) = \mathcal{L}(y_1)\mathcal{L}(y_2) \cdots \mathcal{L}(y_r)$. Другими словами, под (n, ℓ) -последовательностью мы здесь будем подразумевать случайную бернуллиевскую последовательность $B(p_1, p_2, \ldots, p_n)$, где p_i ($i = \overline{1, n}$)- рациональные числа и наименьший общий знаменатель чисел p_i равен ℓ.

В работах [2 - 6] доказаны следующие теоремы.

ТЕОРЕМА I. Существуют универсальный над классом всех (n, ℓ) -последовательностей одномерный клеточный автомат, составленный из клеток с 20 состояниями, и способ реализации такие, что

$$T(n, \ell) \leqslant \log \ell \; ; \; L(n, \ell) \leqslant n \log \ell \; ; \; L^{(R)}(n, \ell) =]\log \ell[.$$

При этом клетка реализуется в базисе, содержащем функциональные элементы $\&, \vee, \neg$, элемент задержки и бернуллиевский датчик $B(0.5, 0.5)$.

ТЕОРЕМА 2. Для произвольного способа реализации (n, ℓ)-последовательностей на клеточных автоматах $T(n, \ell) \geqslant \log \ell$;

$$L(n, \ell) \geqslant n \log \ell \; ; \; L^{(R)}(n, \ell) >]\log n[.$$

ТЕОРЕМА 3. Существуют универсальный над классом всех (n,ℓ)-последовательностей одномерный клеточный автомат, составленный из клеток с 36 состояниями, и способ реализации, такие, что

$$T(n,\ell) \prec \log \ell \,;\; L(n,\ell) \prec n\log \ell \,;\; L^{(R)}(n,\ell) =]\log n[.$$

ТЕОРЕМА 4. Существуют универсальный над классом всех (n,k,ℓ)-операторов одномерный клеточный автомат, составленный из клеток с 2016 состояниями, и способ реализации, такие, что

$$T(n,k,\ell) \prec nk^2 \log r \,;\; L(n,k,\ell) \prec nk^2 \log \ell \,;$$

$$L^{(R)}(n,k,\ell) = 2\,]\log n[\,, \text{ где } r = \max\{n,k,\ell\}.$$

ТЕОРЕМА 5. Существуют универсальный над классом всех (m,n,k,ℓ)-операторов одномерный клеточный автомат, составленный из клеток с 6048 состояниями, и способ реализации, такие, что

$$T(m,n,k,\ell) \prec mnk^2 \log r \,;$$
$$L(m,n,k,\ell) \prec mnk^2 \log r \,;$$
$$L^{(U)}(m,n,k,\ell) = 2\,]\log m[\,;$$
$$L^{(R)}(m,n,k,\ell) = 2\,]\log n[\,,$$

где $r = \max\{n,k,\ell\}$.

ТЕОРЕМА 6. Существуют двумерный G-универсальный клеточный автомат Z, состоящий из клеток с семью состояниями, и способ реализации γ, такие, что для любого (m,n,k,ℓ)-оператора $\mathcal{L}$

$$T_{Z,\gamma}(m,n,k,\ell) \prec (m+n)k + \ell \,;$$
$$L_{Z,\gamma}(m,n,k,\ell) \prec mk(m+\ell+nk) + \ell\log\ell + nk\log n \,;$$

$$L^{(U)}_{Z,\gamma}(m,n,k,\ell) \asymp m \,;$$
$$L^{(R)}_{Z,\gamma}(m,n,k,\ell) \asymp \log n$$

П р е д л о ж е н и е . Существует способ реализации γ', при котором любой (m,n,k,ℓ)-оператор из G реализуется на клеточном автомате Z (см. теорему 6) со следующими сложностными затратами:

$$L_{Z,\gamma'}(m,n,k,\ell) \prec (\log m + \ell + nk)mk + nk\log n + \ell\log\ell \,;$$
$$L^{(U)}_{Z,\gamma'}(m,n,k,\ell) \asymp \log m \,;$$
$$L^{(R)}_{Z,\gamma'}(m,n,k,\ell) \asymp \log n .$$

При этом $T_{Z,\gamma'}(m,n,k,\ell) \prec (m+n)k + \ell$.

Отметим одно важное свойство перечисленных выше универсальных конструкций - их изотропность, т.е. совпадение свойств клеточных пространств по всем направлениям. Выбор шаблона соседства по Нейману и соответствующий подбор правил смены состояний клеток в каждой из указанных конструкций согласуется с формальным определением изотропности клеточного пространства, данным ниже.

О п р е д е л е н и е 7. Клеточный вероятностный автомат $Z = \langle A, d, N\rangle$ называется изотропным, если:

1) шаблон соседства N таков, что произвольный поворот на 90° вокруг центра отображает его на себя;

2) функция переходных вероятностей φ клеток $A = \langle \Sigma, S, \varphi\rangle$ удовлетворяет следующему условию:

для произвольной пары состояний $s, s' \in S$ и любого $\sigma \in \Sigma$

$$\varphi(s'/\sigma, s) = \varphi(s'/\bar{\sigma}, s) = \varphi(s'/\sigma^{m_i}, s) \,, \text{ где}$$

$\bar{\sigma} \in \Sigma$ есть циклическая перестановка вектора σ

а $\sigma^{mi} \in \Sigma$ - зеркальное отражение вектора σ .

Литература

1. Л.В.Макаревич. О реализуемости вероятностных операторов в логических сетях. СО АН СССР. Дискретный анализ, I5, 1969.
2. А.А.Матевосян, А.Х.Гиоргадзе. Сообщения АН ГССР, 74, № 2, 1974, 301-303.
3. А.А.Матевосян, А.Х.Гиоргадзе. Труды международного симпозиума "Дискретные системы", т.5, Рига, 1974, 182-187.
4. А.А.Матевосян. Тезисы докладов II Всесоюзной конференции "Надежность дискретных устройств", 1975, I .
5. А.А.Матевосян. Об универсальных вероятностных итеративных сетях. ВИНИТИ, 2434-76.
6. А.А.Матевосян. Сообщения АН ГССР, 84, № 2, 1976, 333-336.
7. Дж. фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. "Мир", М., 1971.

УСТОЙЧИВОСТЬ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.И.Майсурадзе

Проблема создания сложных систем является одной из центральных в области вычислительной техники, технической кибернетики и теории управляющих систем. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется задачам анализа и синтеза логико-динамических систем (ЛДС), структуру которых составляют звенья как динамической, так и логической (дискретной) природы, в том числе конечные автоматы, преобразующие дискретную информацию.

Основным качеством, выделяющим дискретные автоматы из числа других преобразователей информации, является наличие множества внутренних состояний и свойств скачкообразного перехода автомата из одного состояния в другое. Скачкообразный переход можно трактовать как мгновенный, который совершается минуя промежуточные состояния.

Рассмотрим ЛДС [I] . Пусть $z(t)$ - состояние выхода, $y(t)$ - состояние входа, а $s(t)$ - внутреннее состояние конечного автомата Мура в момент времени t . Пусть $\{z_1, z_2, \dots, z_r\}$ - ряд значений (или символов), которые может принимать $y(t)$, $\{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ - ряд значений, которые может принимать $s(t)$, а $\{s_1, s_2, \dots, s_r\}$ - ряд значений, которые может принимать $s(t)$. Тогда при $t' = \lim_{\varepsilon \to 0} (t+\varepsilon)$ уравнения, определяющие состояния асинхронного автомата, имеют вид

$$s(t') = S(s(t), y(t))$$
$$z(t) = Z(s(t)) \qquad (I)$$

Динамическая часть ДДС описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{r} L_i f_i(x, u_i, t), \qquad (2)$$

где $x \in R^n$ и f_i $i=\overline{1,r}$ – n-мерные векторы, $L_i \in \{0,1\}$, а $u_i \in R^{m_i}$ – m_i-мерный вектор.

Если конечный автомат введен в динамическую систему, то выходные сигналы автомата должны быть преобразованы в действительные числовые значения, а действительные числовые значения переменных динамической системы – в дискретные значения.

Выходной сигнал конечного автомата $z(t)$ в какой-либо момент времени t может принимать одно из значений z_i, $i \in \{1,2,\dots,r\}$. Пусть $L_i(t)$ – функция, определяемая следующим образом:

$$L_i(t) = \begin{cases} 1, \text{ если } & z(t) = z_i \\ 0, \text{ если } & z(t) \neq z_i . \end{cases} \qquad (3)$$

Каждому возможному значению дискретного сигнала входа y_i, $i=\overline{1,p}$, должно соответствовать определенное множество значений переменных состояний x_i; $i=\overline{1,n}$.

Пусть $X = R^n$ – n-мерное пространство, определяемое координатами x_i, и пусть X разделено с помощью p разбиений на области $Q_1, Q_2, \dots, Q_p$.

Связывая y_i с Q_i, $i=\overline{1,p}$, имеем $y(t) = y_i$ тогда и только тогда, когда $x \in Q_i$ или

$$y(t) = \sum_{i=1}^{p} y_i \mu(Q_i; x), \qquad (4)$$

где $\mu(Q_i; x)$ – функция переключателя, определяемая как

$$\mu(Q_i; x) = \begin{cases} 1 & x \in Q_i \\ 0 & x \notin Q_i . \end{cases} \qquad (5)$$

Уравнения (I) – (5) полностью описывают ДДС. Далее будем предполагать, что решение ДДС (I) – (5) $x(t)$ существует в смысле Филиппова [2] при $t \geq t_0$ и единственно для заданных $x_0 = x(t_0)$ и $s_0 = s(t_0)$.

В общем случае управления u_i, $i=\overline{1,r}$, в каждом структурном состоянии $u_i(t) = u_i(x(t), t)$. Поэтому вместо (2) рассмотрим уравнение

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{r} L_i f_i(x, t) \qquad (6)$$

и пусть каждая $f_i : R^n \times T \to R^n$ класса C^1.

Далее будем говорить, что решение $x(t)$ ДДС обладает свойством P для любого автомата, если для любого фиксированного разбиения фазового пространства и любых фиксированных $(S; Z)$ решение ДДС обладает свойством P при заданном $s(t_0) = s_0$.

Предположим, что в ДДС не возникнет скользящих движений.

В общем случае ДДС первого приближения описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{r} L_i (A_i x + b_i), \qquad (7)$$

где A_i – $n \times n$ – действительные матрицы, а b_i – постоянные векторы $i=\overline{1,r}$. Предположим, что хотя бы для одного $i \in \{1,2,\dots,r\}$ пара (A_i, b_i) полностью управляема. Без потери общности можно принять пару (A_1, b_1) полностью управляемой. Тогда, как известно /3/, существует матрица C_1 порядка $(1 \times n)$, такая, что положение равновесия $x = 0$ системы

$$\frac{dx}{dt} = (A_1 + b_1 C_1) x$$

асимптотически устойчиво по Ляпунову. Следовательно, можно

выбрать положительно-определенную квадратичную форму $v(x)$ так, чтобы

$$\frac{dv}{dt} = (\operatorname{grad} v)'(A_1 + b_1 C_1)x = -\|x\|^2 = -(x,x). \quad (8)$$

Обозначим $\tilde{A}_i = (A_i - A_1)$. Тогда (7) принимает вид:

$$\frac{dx}{dt} = A_1 x + \sum_{i=1}^{r} \mu_i (\tilde{A}_i x + b_i). \quad (9)$$

Возьмем $v(x)$ за функцию Ляпунова ДДС и определим условия, при которых ДДС будет обладать свойством устойчивости. Заметим, что $x = 0$ в общем случае не является положением равновесия ДДС с динамической частью (7).

Найдем полную производную функции v в силу (9). Тогда почти всюду имеем

$$\frac{dv}{dt} = -\|x\|^2 + (\operatorname{grad} v)' \sum_{i=1}^{r} \mu_i (\tilde{A}_i - b_1 C_1)x + b_i).$$

Пусть $(\operatorname{grad} v)' = x'B$, где B – постоянная матрица.

Рассмотрим гиперплоскости

$$(\operatorname{grad} v)' b_i = \ell_i, \quad (10)$$

где ℓ_i, $i = \overline{1,r}$, – постоянные числа. Возьмем $\ell_i = 0$, если $\lambda_1^i (B\tilde{A}_i - B b_1 C_1) < 1$, и $\ell_i < 0$, если $\lambda_1^i (B\tilde{A}_i - B b_1 C_1) \geq 1$. Здесь λ_1^i – наибольшее значение квадратичной формы на единичной сфере. Каждой из поверхностей (10) соответствует область $\tilde{X}_i$ фазового пространства X, где

$$(\operatorname{grad} v)' b_i \leq \ell_i. \quad (11)$$

Предположим, что выполняется условие

$$\bigcup_i \tilde{X}_i = X. \quad (12)$$

Будем называть полное состояние автомата (s_i, y_j) допустимым, если в области, в которой выполняется условие $y = y_j$, справедливо (11).

ТЕОРЕМА 1. Если пара (A_1, b_1) полностью управляема, выполняется условие (12) и переходная функция δ автомата

осуществляет переходы в допустимые состояния, то $x = 0$ асимптотически устойчиво по Ляпунову.

Теорема остается в силе, если вектор $b_1 = 0$ и корни характеристического уравнения

$$\det[A_1 - \lambda I] = 0$$

имеют отрицательные действительные части. Тогда возьмем функцию Ляпунова $v(x)$, такую, что в силу системы

$$\frac{dx}{dt} = A_1 x.$$

Производная этой функции была равна

$$\frac{dv}{dt} = -\|x\|^2.$$

В этом случае условие (12) выполняется автоматически.

Предположим, что $x = 0$ является единственным положением равновесия ДДС с динамической частью (6). Тогда следующие две теоремы дают достаточные условия устойчивости и асимптотической устойчивости в целом нулевого решения ДДС.

ТЕОРЕМА 2. Для того чтобы нулевое решение ДДС было устойчивым по Ляпунову, достаточно существования конечной или бесконечной системы положительно определенных функций $v(x,t)$ и функций $W(x), W_1(x)$, таких, что выполняются условия:

1. Для любого $v \in \{v\}$ имеем $0 < W(x) \leq v(x,t) \leq W_1(x)$.

2. Функции v, W, W_1 заданы при $\|x\| < h_0$, $t \geq t_0$, где h_0 – положительная постоянная, $v(0,t) \equiv W_1(x) = W(x) = 0$, для $\forall t \geq t_0$ и при фиксированном значении t непрерывны по переменным x в точке $x = 0$.

Хотя бы для одной функции v_1 из системы $\{v\}$ в любой точке $(\bar{t}, \bar{x})$ существует некоторое $\Delta t_{\bar{t},\bar{x},s} > 0$, такое, что $v_1(x(t),t)$ есть невозрастающая функция t,

$t \in [\bar{t}, \bar{t}+\Delta t]$ вдоль решения, проходящего через эту точку, и выполняется условие

$$\frac{v_1(x(\bar{t}+\Delta t), \bar{t}+\Delta t)}{v_2(x(\bar{t}+\Delta t), \bar{t}+\Delta t)} \geq 1,$$

где $v_2 \in \{v\}$ и вдоль решения $x(t)$, v_2 не возрастает для $t \in [\bar{t}+\Delta t; \bar{t}+\Delta t+\Delta t_1]$.

ТЕОРЕМА 3. Для того чтобы нулевое решение ДДС было асимптотически устойчивым в целом по Ляпунову, достаточно существование конечной или бесконечной системы положительно определенных функций $v(x,t)$, таких, что выполняется условие

$$C_1\|x\|^2 \leq v(x,t) \leq C_2\|x\|^2 \quad \forall v \in \{v\}.$$

Хотя бы для одной функции v из системы $\{v\}$ в любой точке $(\bar{t}, \bar{x})$ существует некоторое $\Delta t > C(\bar{t}, \bar{x}, S) \geq 0$, такое, что вдоль решения ДДС $x(t)$ выполняется условие

$$\frac{dv(x(t),t)}{dt} \leq -C_3\|x\|^2 \qquad t \in [\bar{t}, \bar{t}+\Delta t],$$

где C_1, C_2, C_3 – положительные постоянные.

Рассмотрим применение доказанной теоремы к задачам устойчивости движения ДДС, динамическая часть которых описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{r} b_i A_i x. \qquad (13)$$

Пусть все корни характеристического уравнения матриц A_i, $i=\overline{1,r}$, имеют отрицательную действительную часть. Тогда можно определить положительно определенную квадратичную форму $v_i(x) = x' B_i x$ так, чтобы производная этой формы в силу системы

$$\frac{dx}{dt} = A_i x$$

удовлетворяла уравнению

$$\frac{dv}{dt} = -\|x\|^2.$$

С другой стороны, справедлива оценка

$$C_1^i\|x\|^2 \leq v_i(x) \leq C_2^i\|x\|^2. \qquad (14)$$

Из теоремы 3, с учетом (13) и (14), получаем

Следствие 1. ДДС с динамической частью (13) асимптотически устойчива в целом, для любого автомата, если

$$\Delta t_i \geq \max_i C_2^i \ln \frac{\max_i C_2^i}{\min_i C_1^i} + \varepsilon. \qquad (15)$$

$\varepsilon = const > 0$

Теорема 3 и ее следствие можно применять и для решения задач стабилизации ДДС.

Предположим, что динамическая часть ДДС описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^{r} b_i (A_i x + B_i u_i),$$

где постоянные матрицы A_i и B_i, $i=\overline{1,r}$, удовлетворяют условию управляемости

$$\operatorname{rank}[B_i; A_i B_i; \cdots; A_i^{n-1} B_i] = n. \qquad (16)$$

Задача стабилизации заключается в определении таких постоянных матриц C_i, $u_i = C_i x$, при которых ДДС асимптотически устойчива. В такой постановке задача сводится к нахождению закона управления

$$u_i(x) = C_i x,$$

исходя из условий асимптотической устойчивости системы

$$\frac{dx}{dt} = (A_i + B_i C_i) x. \qquad (17)$$

Действительно, так как выполняется условие (16), то матрицу C_i можно выбрать так, чтобы система (17) была асимп-

тотически устойчива. Поэтому для отрицательно определенной формы $-\|x\|^2$ существует единственная положительная форма $v_i(x) = x'\tilde{B}_i x$, такая, что выполняется условие

$$2x'\tilde{B}_i(A_i + B_i C_i)x = -\|x\|^2.$$

Определим наименьшее и наибольшее значения квадратичных форм $v_i(x)$ на единичной сфере. Пусть Δt_i – время, в течение которого не меняется внутреннее состояние автомата, и удовлетворяет условию (15), тогда ЛДС будет асимптотически устойчивой. Следовательно, задача стабилизации решена.

Литература

1. А.И.Майсурадзе. В сб. "Сложные системы управления". Изд.ИК АН УССР, Киев, 1974.
2. А.Ф.Филиппов. "Математический сборник", т.51(93), № 1, 1960.
3. В.Н.Зубов. Устойчивость движения. "Высшая школа", М., 1973.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Пиранашвили З.А.

Рассмотрим случайный процесс $\xi(t)$. Пусть на него действует некий оператор L (в общем случае нелинейный), в результате чего получается новый случайный процесс $\xi_1(t)$:

$$\xi_1(t) = L\,\xi(t), \tag{1}$$

где L – оператор, определенный на функциональном пространстве реализаций процесса $\xi(t)$.

Назовем процесс $\xi(t)$ входным процессом, а процесс $\xi_1(t)$ выходным.

Ставится задача: известны вероятностные характеристики процесса $\xi(t)$ и вид оператора L, требуется определить интересующие нас вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$.

Решение поставленной задачи полностью зависит от природы процесса $\xi(t)$, вида оператора L и от того, какие вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$ требуется определить. Так, например, если оператор L линейный и требуется определить среднее и функцию ковариации выходного процесса $\xi_1(t)$, тогда задача, как известно, очень просто решается: для получения ответа требуется только знание среднего и функции ковариации входного процесса $\xi(t)$ и вида оператора L.

Но если нужно получить одномерную функцию распределения процесса $\xi_1(t)$, задача осложняется (эта задача легко решается в том случае, когда оператор L линейный, а процесс $\xi(t)$ нормальный). Задача более усложняется, когда оператор L нелинейный.

При решении подобной задачи чисто аналитическим путем часто возникают принципиальные трудности двух видов: I) входной процесс $\xi(t)$ и действующий на него оператор L настолько сложны, что невозможно записать в аналитическом виде зависимость требуемых вероятностных характеристик выходного процесса $\xi_1(t)$ от вероятностных характеристик входного процесса $\xi(t)$ и 2) можно написать вышеуказанную зависимость, но она настолько сложна, что получение из неё требуемых вероятностных характеристик современными средствами практически невозможно.

В таких условиях реальное решение поставленной задачи дает метод Монте-Карло. Сущность этого метода по отношению к данной задаче кратко можно сформулировать так: необходимо построить одну или несколько независимых реализаций входного процесса $\xi(t)$ и, воздействуя на них оператором L, определить соответствующие реализации выходного процесса $\xi_1(t)$, после чего на основе полученных реализаций статистически определить (оценить) интересующие нас вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$ (для них не нужно даже писать какого-либо аналитического выражения).

При применении этого метода главная трудность заключается в построении реализаций входного случайного процесса $\xi(t)$, другими словами - в моделировании процесса $\xi(t)$. После построения реализации, при действии конкретного оператора для получения ответа на интересующие вопросы необходимо применить стандартные операции к построенным реализациям процесса $\xi(t)$. Эти последующие операции инвариантны по отношению к самой реализации - они зависят только от вида оператора L и от тех вопросов, которые нас интересуют.

При моделировании процесса $\xi(t)$ необходимо учесть следующие два возможных случая:

I) интересующие нас вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$ зависят от "конечного" числа вероятностных характеристик процесса $\xi(t)$;

2) они зависят от всех вероятностных характеристик процесса $\xi(t)$.

В первом случае в основу модели процесса $\xi(t)$ надо положить именно те его вероятностные характеристики, от которых зависят интересующие нас вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$.

В связи со вторым случаем, который встречается чаще всего, считаем необходимым сделать следующее замечание (это замечание имеет особое значение, когда моделирование осуществляется на основе статистической информации): методика моделирования случайного процесса должна основываться на такой вероятностной информации, которая практически может быть получена на основе статистического материала. Как известно, при моделировании реализаций случайного процесса необходимо знание всевозможных многомерных функций распределения процесса. Но практически в большинстве случаев мы не знаем и не имеем возможности узнать всевозможные многомерные функции распределения. Мы можем знать только несколько, во всяком случае "конечное" число вероятностных характеристик, например, одномерную функцию распределения, функцию корреляции и т.д. Недостаток информации от незнания остальных вероятностных характеристик надо пополнить введением какой-либо разумной гипотезы, например, допустить, что процесс нормальный или марковский и т.д. Введенная гипотеза, если это возможно,

должна быть проверена на основе статистического материала. В результате этого, ввиду такого теоретического допущения, с одной стороны, и того, что вероятностные характеристики получены на основе статистического материала и, следовательно, содержат искажения, с другой стороны, построенная нами модель случайного процесса отличается от того, что мы имеем в природе. Но если это различие мало (построенная модель должна удовлетворять этому условию) и, кроме того, интересующие нас вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$ непрерывно зависят от вероятностных характеристик процесса $\xi(t)$, то допущенная при их определении ошибка будет мала (здесь надо принять во внимание также ошибки, вызванные самим статистическим методом оценивания вероятностных характеристик процесса $\xi_1(t)$. Очевидно, что необходима количественная оценка вышеназванных ошибок. Но это проделывается индивидуально для конкретных операторов и конкретных характеристик (в этом отношении была проведена определенная работа для одного конкретного специфического нелинейного оператора, существующего в энергетике).

Применяя метод моделирования случайных процессов, можно легко получить решение следующей задачи управления.

Пусть оператор L зависит от некоторых параметров управления:

$$\xi_1(t) = L(\xi(t), u_1, u_2, \dots, u_m), \tag{2}$$

где $u_1, u_2, \dots, u_m$ - параметры управления, не зависящие от t.

Пусть оптимальный критерий управления формулируется в терминах определенных вероятностных характеристик выходного процесса $\xi_1(t)$. Теперь эти вероятностные характеристики

зависят не только от модели процесса $\xi(t)$ и функционального вида оператора L, но и от значений параметров $u_1, u_2, \dots, u_m$.

Ставится задача: подобрать управляющие параметры $u_1, u_2, \dots, u_m$ таким образом, чтобы удовлетворялся какой-либо заранее заданный оптимальный критерий управления, например, чтобы функция потерь принимала минимальное значение.

При чисто аналитическом решении поставленной задачи, особенно тогда, когда оператор L нелинейный, в большинстве случаев практически сталкиваются с принципиальными трудностями. Метод Монте-Карло и в этом случае дает реальную возможность для решения поставленной задачи.

Пусть областью допустимых значений параметров управления является некоторое ограниченное замкнутое множество U. Покроем U $\varepsilon > 0$ сеткой. Построим реализацию процесса $\xi(t)$ и определим реализации процесса $\xi_1(t)$, соответствующие каждой узловой точке сетки. С помощью этих реализаций найдем (оценим) вероятностные характеристики процесса $\xi_1(t)$, входящие в критерий оптимальности. Из узловых точек выберем наилучшую в смысле оптимального критерия и будем считать ее оптимальным ε-приближением параметров управления. Если ε достаточно мало и критерий оптимальности непрерывно зависит от параметров управления, полученные таким образом оптимальные с ε-приближением параметры управления будут также незначительно отличаться от оптимальных параметров управления. В пределе, при $\varepsilon \to 0$, они совпадут.

Подход к задачам управления для случая, когда параметры управления зависят от t, излагается в работе /I/. Идея применения метода Монте-Карло в задачах управления дана в /2/.

Такова сущность метода Монте-Карло в применении к вышепоставленной задаче управления. Отсюда видно, что практическая реализация этого метода связана с принципиально простой, но большой по объему вычислительной работой, которая требует применения современных быстродействующих электронных вычислительных машин. Именно поэтому реальная основа применения упомянутого метода к сложным актуальным задачам была создана только после появления вышеуказанных машин.

Метод Монте-Карло с эффективным применением современных вычислительных машин дает практическую возможность решения многих актуальных задач, не решаемых чисто аналитическим путем. Но это совсем не значит, что при применении упомянутого метода как будто вообще не требуется аналитическое исследование. Метод Монте-Карло из-за своей простоты нашел широкое распространение среди специалистов разных отраслей науки и техники. Популярности этого метода способствовало именно то обстоятельство, что этим методом были решены многие задачи, которые до этого не решались чисто аналитическим путем. Вследствие этого некоторые специалисты начали смотреть на метод Монте-Карло как на средство изображения аналитических исследований вообще.

Надо заметить, что противопоставление упомянутых методов и вышеуказанное мнение о методе Монте-Карло являются ошибочными. Более того, при применении метода Монте-Карло к решению достаточно сложных реальных задач необходимо проведение определенного аналитического исследования.

Действительно, в вышепоставленной задаче управления при применении метода Монте-Карло одной из главных задач было построение модели процесса $\xi(t)$. Здесь необходимо определенное теоретико-аналитическое исследование. Без такого исследования созданная модель будет слишком примитивной, поверхностной, в ней не будут учтены существенные моменты.

Итак, с одной стороны, применение аналитического аппарата необходимо для того, чтобы модель по отношению к поставленной задаче содержала существенную информацию о реальном процессе, а с другой стороны, аналитическое исследование необходимо для математического обоснования ответа, полученного методом моделирования. Аналитическое исследование необходимо также для анализа самого оператора L, выяснения вопроса, как оператор L преобразует входной процесс $\xi(t)$ и его вероятностные характеристики в процесс $\xi_1(t)$ и в его вероятностные характеристики (правила преобразования реализаций процесса $\xi(t)$ в реализации процесса $\xi_1(t)$ существенно нужны при решении задачи методом Монте-Карло).

Таким образом, на основе современного аналитического аппарата и только на этой основе метод Монте-Карло полностью проявляет все свои возможности. Решение сложных серьезных задач может быть осуществлено с помощью комбинированного целеустремленного применения разных методов.

Литература

1. З.А.Пирпашвили. Труды Института прикладной математики, т.I, ТГУ, 1969.
2. В.В.Чавчанидзе. В сб."Применение вычислительной техники для автоматизации производства". Машгиз, М., 1961.

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ СТАТИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Хуцишвили Н.Г.

Широкий класс задач статистики случайных процессов сводится к задачам математического программирования. Рассмотрим некоторые из них.

I. Оценивание матричной корреляционной функции /I,2/.

Пусть $\xi(t)$ – действительный многомерный случайный процесс с матричной корреляционной функцией $\|B(t,s)\|$. Для разных классов случайных процессов, например для в широком смысле стационарных и стационарно связанных процессов, в широком смысле периодических и периодически связанных процессов, на основе наблюденной реализации процесса $\xi(t)$ можем получить состоятельную оценку $\|B^*(t,s)\|$ матричной корреляционной функции $\|B(t,s)\|$. Оценка $\|B^*(t,s)\|$ является симметричной функцией относительно переменных t и s, но иногда она не обладает необходимым условием неотрицательной определенности, что создает некоторые трудности неудобства в практическом использовании $\|B^*(t,s)\|$ в качестве корреляционной функции. Эти трудности можно преодолеть следующим образом.

В классе корреляционных функций найдем такую функцию, которая бы минимально отклонялась от функции $\|B^*(t,s)\|$ в смысле, например, средне-квадратической метрики.

Рассмотрим, например, какой-либо известный конструктивно описываемый класс корреляционных функций:

$$B(t,s)=\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)\cdot f(s,\mu)\cdot \varphi(\lambda-\mu)\,d\lambda\,d\mu \quad , \qquad (I)$$

где $\varphi(\lambda-\mu)$ – корреляционная функция стационарного в широком смысле случайного процесса:

$$\varphi(\lambda-\mu)=\int_0^\infty \cos[(\lambda-\mu)\omega]\,\Psi(\omega)\,d\omega \quad , \quad \Psi(\omega)\geq 0 . \qquad (2)$$

Тогда вышепоставленная задача для этого класса примет вид: найти такую $\Psi(\omega)\geq 0$, которая обращает в минимум выражение

$$\sum_{t,s}\left\{B^*(t,s)-\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)\cdot f(s,\mu)\int_0^\infty \cos[(\lambda-\mu)\omega]\cdot\Psi(\omega)\cdot d\omega\,d\lambda\,d\mu\right\}^2 , \qquad (3)$$

где $\sum_{t,s}$ – символ, который означает конечную сумму, если $\xi(t)$ – дискретный процесс, и обозначает двойной интеграл по t и s, если $\xi(t)$ – непрерывный процесс.

Если в левой части выражения (3) интеграл по ω заменить его приближенным значением, скажем суммой Римана, тогда (3) запишется так:

$$\sum_{t,s}\left\{B^*(t,s)-\sum_k\left[\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)f(s,\mu)\cos[(\lambda-\mu)\omega_k]\,d\lambda\,d\mu\right]\Psi(\omega_k)\Delta\omega_k\right\}^2=\min_{\Psi(\omega_k)} . \qquad (3^I)$$

Если введем обозначения

$$\begin{aligned}
&y_k=\Psi(\omega_k),\\
&b^2=\sum_{t,s} B^{*2}(t,s),\\
&B_k=-2\sum_{t,s} B^*(t,s)\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)\cdot f(s,\mu)\cos[(\lambda-\mu)\omega_k]\Delta\omega_k\cdot d\lambda\cdot d\mu ,\\
&b_{km}=\sum_{t,s}\left(\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)f(s,\mu)\cos[(\lambda-\mu)\omega_k]\,d\lambda\,d\mu\right)\times\\
&\qquad\times\left(\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda)f(s,\mu)\cos[(\lambda-\mu)\omega_m]\,d\lambda\,d\mu\right)\Delta\omega_k\cdot\Delta\omega_m ,
\end{aligned} \qquad (4)$$

тогда (3^I) примет вид

$$b^2+\sum_{k,m} b_{km}\cdot y_k\cdot y_m+\sum_k B_k\cdot y_k=\min_{y_k} .$$

Полученная задача представляет задачу математического программирования с квадратичной целевой функцией:

$$\sum_{k,m} b_{km}\cdot y_k y_m+\sum_k B_k y_k=\min_{y_k} , \quad y_k\geq 0 . \qquad (5)$$

Решение этой задачи дает значения $y_k = \Psi(\omega_k)$ функции $\Psi(\omega)$ в дискретных точках. В качестве приближенной оценки корреляционной функции $B(t,s)$, берем

$$\widetilde{B}^*(t,s) = \sum_k \left(\iint_{\Lambda\Lambda} f(t,\lambda) f(s,\mu) \cos[(\lambda-\mu)\omega_k] d\lambda d\mu \right) \Psi(\omega_k) \Delta\omega_k ,$$

которая уже обладает свойством неотрицательной определенности.

Если ограничимся классом гармонизуемых процессов, то

$$f(t,\lambda) = \cos(t\lambda), \quad f(s,\mu) = \cos(s\mu), \quad \Lambda = [0,\pi].$$

Обозначим $d_k(t,s) = \int_0^\pi \int_0^\pi \cos(t\lambda) \cdot \cos(s\mu) \cdot \cos[(\lambda-\mu)\omega_k] d\lambda d\mu =$

$$= \left[\frac{\sin(t+\omega_k)\pi}{2\cdot(t+\omega_k)} + \frac{\sin(t-\omega_k)\pi}{2\cdot(t-\omega_k)} \right] \cdot \left[\frac{\sin(s+\omega_k)\pi}{2\cdot(s+\omega_k)} + \frac{\sin(s-\omega_k)\pi}{2\cdot(s-\omega_k)} \right] +$$

$$+ \left[\frac{1-\cos(\omega_k+t)\pi}{2\cdot(\omega_k+t)} + \frac{1-\cos(\omega_k-t)\pi}{2\cdot(\omega_k-t)} \right] \cdot \left[\frac{1-\cos(\omega_k+s)\pi}{2\cdot(\omega_k+s)} + \frac{1-\cos(\omega_k-s)\pi}{2\cdot(\omega_k-s)} \right].$$

Тогда для вычисления B_k, b_{km}, $\widetilde{B}^*(t,s)$ будем иметь:

$$B_k = -2\Delta\omega_k \cdot \sum_{t,s} B^*(t,s) \cdot d_k(t,s),$$

$$b_{km} = \Delta\omega_k \cdot \Delta\omega_m \cdot \sum_{t,s} d_k(t,s) \cdot d_m(t,s),$$

$$\widetilde{B}^*(t,s) = \sum_k d_k(t,s) \cdot y_k \cdot \Delta\omega_k .$$

Вместо (3) можно взять "взвешенную" средне квадратическую метрику и снова прийти к задаче математического программирования (5).

Если $B^*(t,s) = B^*(t-s) = B^*(\tau)$ - известная несмещенная состоятельная оценка корреляционной функции одного стационарного в широком смысле случайного процесса ξ_k на основе наблюденной реализации $x_0, x_1, \ldots, x_n$

$$B^*(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{n-\tau+1} \cdot \sum_{k=\tau}^{n} x_k \cdot x_{k-\tau}, & \tau = 0,1,\ldots,n, \\ 0, & \tau > n, \end{cases}$$

тогда вместо (3) можем написать

$$\sum_\tau \left[B^*(\tau) - \int_\Lambda \Psi(\omega) \cos(\omega\tau) \cdot d\omega \right]^2 = \min_{\Psi(\omega)}, \quad \Psi(\omega) \geq 0, \ \omega \in \Lambda . \qquad (3'')$$

Если $\xi(t)$ - дискретный процесс, тогда $\sum_\tau$ - конечная сумма и $\Lambda = [0,\pi]$. Заменой интеграла суммой Римана задача (3'') сводится к задаче:

$$\sum_\tau \left[B^*(\tau) - \sum_k \Delta\omega_k \cdot \Psi(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k\tau) \right]^2 = \min_{\Psi(\omega_k)}, \quad \Psi(\omega) \geq 0, \quad 0 \leq \omega_k \leq \pi . \qquad (3''')$$

Вводя обозначения

$$y_k = \Psi(\omega_k),$$

$$b^2 = \sum_\tau B^{*2}(\tau),$$

$$B_k = -2 \cdot \sum_\tau B^*(\tau) \cdot \Delta\omega_k \cdot \cos(\omega_k\tau),$$

$$b_{km} = \sum_\tau \Delta\omega_k \cdot \Delta\omega_m \cdot \cos(\omega_k\tau) \cdot \cos(\omega_m\tau) \qquad (6)$$

и подставляя их в (3), приходим к задаче (5).

Приближенная оценка корреляционной функции будет

$$\widetilde{B}^*(\tau) = \sum_k \Delta\omega_k \cdot \Psi(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k\tau) .$$

В случае непрерывного времени вместо (3'') будем иметь

$$\int_0^T \left[B^*(\tau) - \int_0^\infty \Psi(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega \right]^2 \cdot d\tau = \min_{\Psi(\omega)}, \quad \Psi(\omega) \geq 0,$$

где $B^*(\tau)$ является состоятельной оценкой функции $B(\tau) = \int_0^\infty \Psi(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega$ в достаточно широких условиях:

$$B^*(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{T-\tau} \cdot \int_\tau^T x(s) \cdot x(s-\tau) \cdot ds, & \text{когда } 0 \leq \tau < T, \\ 0, & \text{когда } \tau \geq T. \end{cases}$$

$x(s)$ - наблюденная реализация непрерывного процесса на интервале $(0,T)$.

Вводя аналогично (6) обозначения:

$$b'^2 = \int_0^T B^{*2}(\tau) d\tau ,$$

$$B'_k = -2\cdot\int_0^T B^*(\tau)\cdot\Delta\omega_k\cdot\cos(\omega_k\tau)\,d\tau\,,$$

$$b'_{km} = \int_0^T \Delta\omega_k\cdot\Delta\omega_m\cdot\cos(\omega_k\tau)\cos(\omega_m\tau)\,d\tau\,,$$

приходим к задаче:

$$b'^2 + \sum_{k,m} b'_{km}\cdot y_k\cdot y_m + \sum_k B'_k\, y_k = \min_{y_k}\,,\quad y_k \geqslant 0\,.$$

Таким образом, задача одинаково ставится в случае дискретного и непрерывного времени.

В работе /1/ приведены методика и алгоритм решения задачи (5). Заметим, что эта методика в основном практически применима для дискретных случайных процессов, хотя бы потому, что в непрерывном случае точного метода проверки условия неотрицательной определенности корреляционной матричной функции в общем не существует.

Процедура решения поставленной задачи следующая. Задана корреляционная матрица оценок $\|B^*(t,s)\|$. Проверяем, является ли матричная функция $\|B^*(t,s)\|$ положительно определенной, если да, то мы имеем состоятельную оценку матричной функции $\|B(t,s)\|$. Если же нет, тогда по формулам (4) вычисляем B_k и b_{km}, после чего решаем задачу (5) методом, описанным в /1/.

2. Оценка параметров для одного класса распределений /3/.

Пусть функция распределения $F(x)$ принадлежит к классу Π_1, т.е. она такова, что для нее имеет место следующее представление /4/:

$$F^{-1}(\Phi(x)) = \sum_{k=0}^{n} a_k\cdot x^k\,,\quad -\infty < x < \infty\,. \tag{7}$$

Для того, чтобы $F(x)$ имела представление (7), полином, стоящий в правой части, должен быть возрастающей функцией на всей

вещественной оси, а для выполнения этого условия необходимо и достаточно, чтобы его производная была бы неотрицательной на всей вещественной оси /5/, т.е.

$$\sum_{k=0}^{n} k\cdot a_k\cdot x^{k-1} = A_m^2(x) + B_m^2(x)\,, \tag{8}$$

где $A_m(x)$ и $B_m(x)$ - вещественные алгебраические полиномы степени $m \leq \frac{n-1}{2}$.

В работе /4/ дан метод оценки параметров a_k $k=0,1,\dots,n$ без удовлетворения условий (8). В работе /3/ дан метод оценки параметров a_k, удовлетворяющих условию (8). Это условие принимает конструктивный вид, когда $n=3$. Для этого случая задача ставится так: найти параметры a^*_k, $k=0,1,\dots,n$, которые минимизируют выражение

$$Q_1^* = b^* - 2\sum_{k=0}^{3} b^*_k a^*_k + \sum_{k,m=0}^{3} c_{km}\cdot a^*_k\cdot a^*_m\,, \tag{9}$$

где

$$b^* = \frac{1}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{q} i_\nu\cdot x_\nu^2\,,$$

$$b^*_k = \frac{1}{N}\cdot\sum_{\nu=1}^{q} i_\nu x_\nu\left[\Phi^{-1}\left(\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{k} i_j\right)\right]^k,$$

$$c_{km} = \int_{-\infty}^{\infty} x^{k+m}\cdot d\Phi(x) = \begin{cases} 1\cdot 3\cdots(k+m-1) & ,\ k+m \text{ - четно} \\ 0 & ,\ k+m \text{ - нечетно} \end{cases}$$

при условии

$$-\infty < a^*_0 < \infty\,,\quad a^*_3 > 0\,,\quad a^{*2}_2 - 3a^*_1 a^*_3 \leq 0\,. \tag{10}$$

Величины $x_1, x_2, \dots, x_q$ являются отличными друг от друга значениями, упорядоченными в порядке возрастания $x_1 < x_2 < \dots < x_q$ заданных наблюденных значений $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$; причем x_1 в данной наблюденной последовательности встречается i_1 - раз, x_2 - i_2 - раза и т.д. x_q - i_q - раз $i_1 + i_2 + \dots + i_q = N$. А величины $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ суть независимые наблюденные значения случайной величины $\xi(\omega)$.

или же реализация дискретного стационарного в узком смысле метрически транзитивного случайного процесса $\xi(t,\omega)$ с $M|\xi(t,\omega)|<\infty$.

Задача (9),(10) является нелинейной задачей математического программирования. Методика и алгоритм решения задачи (9),(10) приведены в /3/. Сейчас нами ведется работа обобщения разработанной методики /3/ для полинома произвольной степени. Мы снова приходим к задаче математического программирования, но более общего и сложного вида. Этот случай будет рассмотрен нами в дальнейшем.

Литература

1. З.А.Пиранашвили, Н.Г.Хуцишвили. Сообщения АН ГССР, т.86, № 2, 1977.
2. З.А.Пиранашвили, Н.Г.Хуцишвили. Сообщения АН ГССР, т.87, № 2, 1977.
3. Н.Г.Хуцишвили, З.А.Пиранашвили. Труды X Всесоюзного симпозиума "Методы представления и аппаратурный анализ случайных процессов", Л., 1977.
4. З.А.Пиранашвили, Ю.Г.Буркадзе, Т.Г.Сулаберидзе. В сб."Методы Монте-Карло в вычислительной математике и математической физике". Новосибирск, ВЦСО АН СССР, 1976.
5. А.Ф.Тиман. Теория приближения функций действительного переменного. Физматгиз, 1960.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПРОГНОЗА АНАЛИТИЧЕСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Пиранашвили З.Л., Берикишвили З.И.

Пусть $\xi(t), -\infty<t<\infty$ - случайный процесс второго порядка с вещественными или комплексными значениями, сепарабельный вместе со всеми своими производными, если таковые существуют. Предположим, что выполняются условия теоремы I работы [I] . В условиях указанной теоремы предусматривается, что почти все выборочные функции случайного процесса $\xi(t)$ - целые функции экспоненциального типа с показателем, не превышающим σ . Тогда почти все выборочные функции разлагаются в сходящийся ряд Тейлора

$$\xi(t)=\sum_{m=0}^{\infty}\frac{\xi^{m}(t_0)}{m!}(t-t_0)^{m}. \tag{I}$$

С другой стороны, в условиях теоремы I работы [I] для почти всех выборочных функций справедливы формулы (I) , (2) :

$$\xi_0(t_0)=\xi(t_0)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\frac{\sin\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)}{\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)}, \tag{2}$$

$$\frac{\xi^{(m)}(t_0)}{m!}=\sum_{k=-\infty}^{\infty}(-1)^{k}\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\left[\sin\alpha t_0\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-чётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n}{2}+1}\cdot\alpha^{n-1}}{n!\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^{m-n+1}}+\right.$$

$$\left.+\cos\alpha t_0\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-нечётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n+1}{2}}\cdot\alpha^{n-1}}{n!\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^{m-n+1}}\right], \tag{3}$$

где α - произвольное фиксированное число, большее σ . Например,

$$\xi'(t_0)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}(-1)^k\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\frac{\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)\cos\alpha t_0-\sin\alpha t_0}{\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)^2},$$

$$\xi''(t_0)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}(-1)^k\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\frac{\alpha^2\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^2\sin\alpha t_0-2\alpha\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)\cos\alpha t_0-2\sin\alpha t_0}{\alpha\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^3}$$

Если знаем значения $\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)$, $k=0,\pm1,\pm2,\dots$, тогда значение процесса $\xi(t)$ в произвольной точке $t=t_0$ можем найти по формуле (2).

Если знаем конечное число значений $\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)$, $k=0,\pm1,\pm2,\dots,\pm N$, тогда по формулам (2) и (3) найдем приближенные значения

$$\xi_N^0(t_0)=\xi_N(t_0)=\sum_{k=-N}^{N}\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\frac{\sin\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)}{\alpha\left(t_0-\frac{k\pi}{\alpha}\right)}, \tag{2'}$$

$$\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!}=\sum_{k=-N}^{N}(-1)^k\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\Bigg[\sin\alpha t_0\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-чётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n}{2}+1}\cdot\alpha^{n-1}}{n!\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^{m-n+1}}+$$

$$+\cos\alpha t_0\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-нечётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n+1}{2}}\cdot\alpha^{n-1}}{n!\left(\frac{k\pi}{\alpha}-t_0\right)^{m-n+1}}\Bigg] \tag{3'}$$

в любой точке $t_0\in\left[\frac{-N\pi}{\alpha},\frac{N\pi}{\alpha}\right]$:

$$\xi_0^0(t_0)\approx\xi_N^0(t_0),\quad \frac{\xi^{(m)}(t_0)}{m!}\approx\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!},\quad m=1,2,3,\dots.$$

Тогда приближенное значение случайного процесса $\xi(t), t\in\left[-\frac{N\pi}{\alpha},\frac{N\pi}{\alpha}\right]$ можно найти по формуле

$$\xi_N(t)=\sum_{m=0}^{\infty}\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!}(t-t_0)^m, \tag{I}$$

где $\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!}$ вычислены формулами (2) и (3):

$$\xi(t)\approx\xi_N(t),\quad t\bar{\in}\left[-\frac{N\pi}{\alpha},\frac{N\pi}{\alpha}\right].$$

Ясно, что $\xi_N(t)$, $t\bar{\in}\left[-\frac{N\pi}{\alpha},\frac{N\pi}{\alpha}\right]$ является приближенным значением величины $\xi(t)$, т.е. ее оценкой. В действительности в качестве оценки величины $\xi(t)$ практически можно взять величину

$$\xi_{N,L}(t)=\sum_{m=0}^{L}\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!}(t-t_0)^m, \tag{I''}$$

где $\frac{\xi_N^{(m)}(t_0)}{m!}$ опять вычислены формулами (2′) и (3′), а L - произвольное, но конечное натуральное число.

Величина $\xi_{N,L}(t)$, вычисленная по формуле (I″), дает приближенное значение случайного процесса вне "наблюденного" интервала $\left[-\frac{N\pi}{\alpha},\frac{N\pi}{\alpha}\right]$, т.е. она является прогнозом случайного процесса $\xi(t)$. Погрешность этого прогноза уменьшается с увеличением L и N.

Если возьмем $t_0=\frac{\pi}{2\alpha}$, тогда (I″), (2′) и (3′) примут вид

$$\xi_{N,L}(t)=\sum_{m=0}^{L}\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{\pi}{2\alpha}\right)}{m!}\left(t-\frac{\pi}{2\alpha}\right)^m, \tag{I}$$

$$\xi_N^{(0)}\left(\frac{\pi}{2\alpha}\right)=\xi_N\left(\frac{\pi}{2\alpha}\right)=\sum_{k=-N}^{N}\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\frac{(-1)^k}{\pi\left(\frac{1}{2}-k\right)}, \tag{2}$$

$$\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{\pi}{2\alpha}\right)}{m!}=\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^m\cdot\sum_{k=-N}^{N}(-1)^k\xi\left(\frac{k\pi}{\alpha}\right)\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-чётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n}{2}+1}\pi^{n-1}}{n!(k-1)^{m-n+1}}. \tag{3}$$

Пусть ξ_k, $k=0,\pm1,\pm2,\dots,\pm N$ - наблюденные значения дискретного или непрерывного (в дискретных точках) случайного процесса $\xi(t)$. Предположим, что величины ξ_k; $k=0,\pm1,\pm2,\dots,\pm N$, наблюденные в дискретных точках значения непрерывного случайного процесса $\xi(t)$, $-\infty<t<\infty$, относительно которого выполняются условия теоремы I работы [I]. Тогда верны вышеописанные формулы, где надо взять $\alpha=\pi$:

$$\xi_{N,L}(t)=\sum_{m=0}^{L}\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{1}{2}\right)}{m!}\left(t-\frac{1}{2}\right)^m, \qquad (I'')$$

$$\xi_N^{(0)}\left(\frac{1}{2}\right)=\xi_N\left(\frac{1}{2}\right)=\sum_{k=-N}^{N}\frac{(-1)^k\,\xi(k)}{\pi\left(\frac{1}{2}-k\right)}, \qquad (2)$$

$$\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{1}{2}\right)}{m!}=\sum_{k=-N}^{N}(-1)^k\xi(k)\sum_{\substack{n=0\\ n\text{-чётное}}}^{m}\frac{(-1)^{\frac{n}{2}+1}\cdot\pi^{n-1}}{n!\left(k-\frac{1}{2}\right)^{m-n+1}} \qquad (3)$$

$$\xi(k)=\xi_k\ ,\ k=0,\pm1,\pm2,\dots,\pm N\ .$$

Для вычисления оценок последующих значений из (I) будем иметь

$$\xi_{N,L}(N+1)=\xi^*_{N+1}=\sum_{m=0}^{L}\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{1}{2}\right)}{m!}\left(N+\frac{1}{2}\right)^m,$$

$$\xi_{N,L}(N+2)=\xi^*_{N+2}=\sum_{m=0}^{L}\frac{\xi_N^{(m)}\left(\frac{1}{2}\right)}{m!}\left(N+\frac{3}{2}\right)^m,$$

. . . . . .

Описанный метод прогноза применим для определенного класса нестационарных случайных процессов с одной стороны, а с другой стороны метод не требует знания функции ковариации случайного процесса.

Литература

I. З.А.Пиранашвили.К вопросу об интерполяции случайных процессов. Теория вероятностей и ее применение,т.XII, 4(1967), 708-717 .

2. З.А.Пиранашвили. Об интерполяции, аппроксимации и некоторых аналитических свойствах случайных процессов. Кандидатская диссертация, Тбилиси, 1969г.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ЛИНЕЙНОГО И НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГНОЗА СТАЦИОНАРНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И ЕГО АЛГОРИТМИЗАЦИИ

Пиранашвили З.А., Асланиди Н.П.

В настоящей работе для одного метода линейного [I] и нелинейного [2] прогноза стационарной последовательности известные формулы доводятся до рекуррентных, легко реализуемых на ЭВМ.

I. Рассматривается недетерминированная стационарная, в широком смысле, с математическим ожиданием 0 последовательность $\xi(t)$. Прогноз находится по бесконечному прошлому [I] :

ТЕОРЕМА I. Если $\xi(t)$ - недетерминированная стационарная последовательность, то оптимальный прогноз $\xi^{(q)}(t)$ величины $\xi(t)$ по результатам наблюдения $\xi(s)$, $s\le t-q$, дается формулой

$$\xi^{(q)}(t)=\int_{-\pi}^{\pi}e^{itu}\left[1-\frac{\overline{g_q(e^{iu})}}{\overline{g(e^{iu})}}\right]\nu(du)\ , \qquad (I)$$

где ν - спектральная стохастическая мера последовательности $\xi(t)$,

$$g(z)=\sum_{n=0}^{\infty}b_n z^n\ ,\quad g_q(z)=\sum_{n=0}^{q-1}b_n z^n\ , \qquad (2)$$

функция $g(z)\in H_2$ не имеет нулей в круге $|z|<1$, $g(0)$ положительно и $|g(e^{iu})|^2=f(u)$, $f(u)$ - производная абсолютно непрерывной компоненты спектральной функции последовательности $\xi(t)$. Квадрат средней квадратической

погрешности прогноза равен

$$\delta^2(q) = 2\pi \cdot e^{\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln f(u)\,du} \cdot \sum_{n=0}^{q-1} |c_n|^2, \qquad (3)$$

причем c_n определяется из соотношения

$$\exp\left\{\frac{1}{2\pi}\sum_{n=1}^{\infty} z^n \int_{-\pi}^{\pi} e^{inu} \ln f(u)\,du\right\} = \sum_{n=0}^{\infty} c_n z^n. \qquad (4)$$

В частности,

$$\delta^2(1) = 2\pi \cdot e^{\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln f(u)\,du}$$

Получим формулы для нахождения коэффициентов c_n, $n=0,1,2,\ldots$

Разложим функцию

$$\psi(z) = \exp\left\{\sum_{n=1}^{\infty} a_n z^n\right\},$$

где

$$a_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} e^{inu} \ln f(u)\,du, \qquad (5)$$

в степенной ряд в окрестности точки 0, вычисляя коэффициенты по формулам:

$$\begin{cases} c_0 = \psi(0), \\ c_{n+1} = \dfrac{\psi^{(n+1)}(0)}{(n+1)!}, \quad n=0,1,2,\ldots. \end{cases}$$

Если для функции $\psi'(z) = \left(\sum_{n=1}^{\infty} a_n z^n\right)' \psi(z)$ используем формулу $(u(x)\cdot v(x))^{(n)} = \sum_{k=0}^{n} C_n^k \cdot u^{(k)}(x)\cdot v^{(n-k)}(x)$,

получим

$$\psi^{(n+1)}(0) = \sum_{k=0}^{n} C_n^k \cdot \left(\sum_{m=1}^{\infty} a_m z^m\right)^{(k+1)} \cdot \psi^{(n-k)}(z)\Big|_{z=0} =$$

$$= \sum_{k=0}^{n} \frac{n!\,(k+1)}{(n-k)!} \cdot a_{k+1} \cdot \psi^{(n-k)}(0),$$

$$\left(\sum_{m=1}^{\infty} a_m z^m\right)^{(k+1)}\Big|_{z=0} = (k+1)!\cdot a_{k+1}, \quad k=0,1,2,\ldots.$$

Таким образом, искомые коэффициенты, входящие в (3), могут быть найдены по рекуррентным формулам:

$$\begin{cases} c_0 = 1, \\ c_{n+1} = \sum_{k=0}^{n} \dfrac{a_{k+1}\cdot(k+1)}{n+1} \cdot c_{n-k}, \quad n=0,1,2,\ldots. \end{cases} \qquad (6)$$

Теперь постараемся получить аналогичные формулы для определения прогноза. Как известно [1], функция

$$g(z) = e^{\frac{\varphi(z)}{2}}, \text{ где } \varphi(z) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln f(u) \cdot \frac{e^{iu}+z}{e^{iu}-z}\,du.$$

Разлагая $\dfrac{e^{iu}+z}{e^{iu}-z}$ в ряд и используя обозначения (5), получим:

$$\bar{g}(z) = p \cdot e^{\sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \bar{z}^k},$$

где

$$p = e^{\frac{1}{4\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \ln f(u)\,du}.$$

Мы уже получили рекуррентные формулы (6) для нахождения коэффициентов степенного ряда в окрестности точки 0 для функции аналогичного вида:

$$\begin{cases} b_0 = p, \\ b_{n+1} = p \cdot \sum_{k=0}^{n} \dfrac{a_{k+1}\cdot(k+1)}{n+1}\, b_{n-k}, \quad n=0,1,2,\ldots. \end{cases} \qquad (7)$$

Упростим формулу (1):

$$\xi^{(q)}(t)=\int_{-\pi}^{\pi}e^{itu}\cdot\nu(du)-\int_{-\pi}^{\pi}e^{itu}\cdot\frac{\overline{g_q(e^{iu})}}{\overline{g(e^{iu})}}\cdot\nu(du)=$$

$$=\xi(t)-\int_{-\pi}^{\pi}e^{itu}\cdot\frac{\sum_{n=0}^{q-1}b_n\cdot\bar{z}^n}{\sum_{n=0}^{\infty}b_n\cdot\bar{z}^n}\cdot\nu(du)=$$

$$=\xi(t)-\sum_{n=0}^{\infty}d_n\cdot\int_{-\pi}^{\pi}e^{i(t-n)u}\cdot\nu(du)=\xi(t)-\sum_{n=0}^{\infty}d_n\cdot\xi(t-n).$$

Коэффициенты d_n могут быть найдены из системы уравнений:

$$\begin{cases} b_n=\sum_{k=0}^{n}d_k\cdot b_{n-k}, & n=0,1,\dots,q-1, \\ 0=\sum_{k=0}^{n}d_k\cdot b_{n-k}, & n=q,q+1,\dots \end{cases} \tag{8}$$

или

$$\begin{cases} d_0=1;\ d_1=d_2=\dots=d_{q-1}=0;\ d_q=-\frac{b_q}{b_0}; \\ d_{q+m}=-\frac{b_{q+m}}{b_0}-\frac{1}{b_0}\sum_{k=0}^{m-1}d_{q+k}\cdot b_{m-k},\ m=1,2,\dots. \end{cases} \tag{8'}$$

Таким образом, формула прогноза примет вид:

$$\xi^{(q)}(t)=-\sum_{n=q}^{\infty}d_n\cdot\xi(t-n),$$

где коэффициенты d_n находятся из (8) или (8').

Если возьмем $t=\tau+q$, то получим формулу прогноза на q шагов вперед, зная значения до момента τ:

$$\xi^{(q)}(\tau+q)=-\sum_{n=q}^{\infty}d_n\cdot\xi(\tau+q-n)=-\sum_{m=0}^{\infty}d_{m+q}\cdot\xi(\tau-m), \tag{9}$$
$$n-q=m.$$

2. Если $\xi(t)$ – вещественная случайная стационарная последовательность класса N с одномерной функцией распределения $F(x)$ и функцией корреляции $\rho(t-s)$, тогда случайная последовательность [3,4]

$$\eta(t)=\Phi^{-1}(F(\xi(t)))$$

есть гауссовская стационарная случайная последовательность и оптимальный в ср.кв.смысле, наилучший нелинейный прогноз в момент $\tau+q$, через значения $\xi(t)$, $t\le\tau$, вычисляется по формуле [2]:

$$\tilde{\xi}^*(\tau+q)=\int_{-\infty}^{\infty}F^{-1}\left(\Phi\left(\sigma_{min}(q)\cdot x+\bar{\eta}^*(\tau+q)\right)\right)d\Phi(x), \tag{10}$$

где $\bar{\eta}^*(\tau+q)$ – наилучшая (в ср.кв.смысле) линейная оценка гауссовской случайной величины $\eta(\tau+q)=\Phi^{-1}(F(\xi(t+q)))$ через значения гауссовских случайных величин $\eta(t)=\Phi^{-1}(F(\xi(t)))$, $t\le\tau$, а $\sigma^2_{min}(q)=\mathcal{M}[\eta(\tau+q)-\bar{\eta}^*(\tau+q)]^2$.

Если $\eta(t)$ – недетерминированная стационарная последовательность, то, применяя формулы (3) и (9), можем написать:

$$\bar{\eta}^*(\tau+q)=-\sum_{m=0}^{\infty}d_{m+q}\cdot\eta(\tau-m),$$

$$\sigma^2_{min}(q)=2\pi\cdot e^{\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}\ln f_\eta(u)du}\cdot\sum_{n=0}^{q-1}|c_n|^2,$$

где $f_\eta(u)$ – спектральная плотность стационарной последовательности $\eta(t)$; коэффициенты c_n находятся из (6), коэффициенты d_n – из (8). Параметры a_n и b_n, входящие в (6) и (8), вычисляются из (5) и (7) соответственно. В работах [2,5,6] для некоторых конкретных представлений $F^{-1}(\Phi(x))$ даются конструктивные формулы нелинейного прогноза (10).

3. Из вышесказанного ясно, что для нахождения линейного и нелинейного прогноза должна быть известна спектральная плот-

ность процесса $\xi(t)$ или $\eta(t)$.

Пусть теперь спектральная плотность вещественной стационарной недетерминированной последовательности такая, что для нее имеем представление (полиномиальная аппроксимация функции $\ln f(u)$, $-\pi \le u \le \pi$):

$$\ln f(u) = \sum_{k=0}^{m} A_k \cdot |u|^k .$$

Тогда коэффициенты (5)

$$a_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} e^{inu} \cdot \ln f(u) \cdot du = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \cos(nu) \cdot \sum_{k=0}^{m} A_k u^k \cdot du =$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{m} A_k \cdot \left(\frac{(-1)^n}{n^{k+1}} \cdot \sum_{m_1=0}^{E\left(\frac{k-1}{2}\right)} (-1)^{m_1} \cdot \frac{k!}{(k-2m_1-1)!} \cdot (n\pi)^{k-2m_1-1} + \right.$$

$$\left. + (-1)^{E\left(\frac{k+1}{2}\right)} \cdot \frac{2 \cdot E\left(\frac{k+1}{2}\right) - k}{k+1} \cdot k! \right) ,$$

где $E(x)$ - целая часть x .

$$P = e^{\frac{1}{4\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \ln f(u) \cdot du} = e^{\frac{1}{4\pi} \cdot 2 \cdot \sum_{k=0}^{m} A_k \cdot \int_0^{\pi} u^k \cdot du} = e^{\frac{1}{2\pi} \cdot \sum_{k=0}^{m} \frac{A_k \cdot \pi^{k+1}}{k+1}} .$$

Литература

1. И.И.Гихман, А.В.Скороход. Теория случайных процессов,т.I, "Наука", 1971.
2. З.А.Пиранашвили, Т.Г.Сулаберидзе. О прогнозе и фильтрации одного класса случайных процессов. Сообщения АН ГССР,78, №1, 1975.
3. З.А.Пиранашвили. Некоторые вопросы статистико-вероятностного моделирования непрерывных случайных процессов. Сб. "Вопросы исследования операций." "Мецниереба", 1966.

4. З.А.Пиранашвили. Об одном классе случайных процессов. Тр. Института прикладной математики ТГУ, т.I, 1969.
5. З.А.Пиранашвили, Т.Г.Сулаберидзе. Метод нелинейного прогноза и фильтрации для полиномиально преобразованных гауссовских случайных процессов. Сообщения АН ГССР, 82, № 3, 1976.
6. З.А.Пиранашвили, Т.Г.Сулаберидзе. О нелинейном прогнозе и фильтрации кусочно-экспоненциально и полиномиально преобразованных гауссовских случайных процессов. Сообщения АН ГССР, 84, № 2, 1976.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Бокучава И.Т., Купрадзе А.В., Мнацаканов Р.Б.,
Пирвелашвили Л.Д., Трошин В.И., Хирсели И.М.

В настоящей статье нашли отражение некоторые результаты работ по моделированию автоматизированной системы обработки информации о природных ресурсах окружающей среды (АСОИоПРОС) в целях выбора структуры и рациональных режимов функционирования системы и технических средств для ее реализации. Дан анализ основных задач, решаемых этой системой, и приведена их классификация с точки зрения характера процессов обработки информации. Рассмотрены основные требования к системе, определяющие условия ее эксплуатации и качество. Показано, что АСОИо ПРОС можно представить как информационно-поисковую систему (ИПС) со специфическими алгоритмами обработки документов. Дана блок-схема модели.

В качестве математического аппарата исследования выбраны методы теории сетей, теории массового обслуживания и статистического моделирования.

§ I. Задачи системы обработки информации

В автоматизированной системе обработки космической информации должна быть организована расшифровка и интерпретация космической информации с учетом опыта и задач народного хозяйства и науки. Система должна накапливать и классифицировать большой массив разнообразной по содержанию информации и своевременно распределить ее среди большого и неоднородного круга потребителей /I/.

Характер поступающей в систему космической информации, разумное разнообразие набора данных, которые должны выдаваться в результате обработки космических снимков, и широкий спектр запросов потребителей определяет специфику системы и требования к ней.

К основным задачам, на базе которых могут быть сформулированы требования к системе, можно отнести следующие:

I. Задачи обработки изображений: кодирование, коррекция, построение картографической мозаики, дешифрование и интерпретация изображений, формирование базы данных на логическом уровне и т.д.

2. Задачи диалоговой системы выборки информации: анализ запросов, стратегия поиска информации по запросу, формирование ответов.

3. Задачи по обработке информации банка данных (БД): формирование поисковых образов документов, обработка информации по запросам.

Задачи обработки изображений характеризуются большой входной информацией, определяемой количеством поступающих в систему космических снимков и количеством отсчетов на каждом снимке. Для решения задачи автоматического распознавания изображения даже очень простой структуры и невысокой сложности (т.е. с малым числом объектов, каждый из которых может быть описан малым числом признаков) требуется выполнить большое число операций над каждой точкой изображения /2/.

Реализация этих задач на вычислительной системе (ВС) предъявляет к ней ряд специфических требований по пропускной способности каналов ввода-вывода, производительности системы и

емкости памяти. Разнотипность задач обработки изображений и связанных с ними процессов в ВС определяет необходимое разнообразие конфигураций технических средств и гибкость структуры системы /3/ .

При организации информации в банке данных нужно учесть как характер запросов пользователей, так и характер задач обработки изображений. Информация в банке данных должна быть организована таким образом, чтобы в любом случае можно было осуществить поиск и выбор информации из банка и чтобы время поиска было минимальным.

Необходимость диалога между ЭВМ и человеком при выборе информации (и при ее обработке) тоже предъявляет свои требования к ЭВМ, к средствам связи пользователя с машиной, к возможностям входного языка.

Основным требованием к ЭВМ в диалоговых системах является возможность работы ЭВМ в режиме разделения времени. Это вызвано тем, что такой режим работы ЭВМ приводит к сильному сокращению средних затрат каждого потребителя за счет коллективного пользования машиной.

Для обмена информацией с ЭВМ потребитель должен располагать каналом связи. Этот канал должен быть подключен к устройству-терминалу, которое могло бы принимать сигналы от человека в удобной для него форме и передавать их ЭВМ в форме, понятной ей, и наоборот.

К языкам диалоговых систем нет специальных требований, и практически не существует специального или стандартного диалогового языка. Круг запросов к системе, как правило, может быть заранее очерчен. В таком случае полный запрос может вводиться не целиком, а по частям, пошагово, причем на каждом шаге запрос может пересматриваться. Поэтому структура диалогового языка может быть простой, но язык должен быть избыточным.

Для осуществления информационного поиска необходимо установить потребности пользователя в информации, определить, в каких массивах БД следует искать интересующую его информацию и каким образом выдавать сообщение об окончании информационного поиска.

Эти требования необходимо учесть при выборе структуры и организации процесса функционирования АСОИ о ПРОС, а также при организации БД системы /4-6/ .

§ 2. Статистическая модель системы обработки информации

Практическая реализация автоматизированной системы обработки информации помимо больших массивов информации, которыми она должна оперировать, осложняется и тем, что в настоящее время не разработан до конца ни один из алгоритмов обработки информации. Кроме того, невозможно установить однозначно ни число и характер потребителей будущей системы, ни число и характер запросов, с которыми они будут обращаться к ней.

Наиболее рациональным, практически осуществимым и отражающим в первом приближении основную сущность АСОИ о ПРОС будет применение в качестве ее модели многоканальной параллельно-последовательной системы массового обслуживания типа ИПС. Действительно, основными частями любой ИПС являются: хранилище документов, система анализа входной информации, поисковая система, поисковые массивы информации и, наконец, люди, непосредственно участвующие в поиске /7/ .

АСОИ о ПРОС можно определить как ИПС со следующими харак-

теристиками:

1) Ее хранилище документов представляет собой склад реальных документов космической информации на первичных носителях - фотоматериалы, магнитные ленты, диски и т.д.

2) Система анализа входной информации представляет совокупность информационно-поискового языка и правил перевода с естественного языка на машинный и обратно. Она осуществляет анализ поступающих в хранилище документов и запросов и составляет поисковый образ документа, отражающий его содержание, и поисковое представление запроса. Особенности данной системы отразятся на специфике процедуры обработки входных документов-изображений.

3) Поисковая система АСОИ о ПРОС обеспечивает поиск нужной потребителю информации с учетом особенностей этой информации и оценивает степень ее релевантности данному запросу по специальным критериям соответствия.

4) Поисковые массивы АСОИ о ПРОС - это набор информации, отражающий содержание документов из хранилища системы. Они формируют банк данных АСОИ о ПРОС.

5) Эта система замкнута относительно всей совокупности алгоритмов обработки информации, реализуемых в ней.

Всякая система, предназначенная для обслуживания больших потоков информации случайного характера, может быть рассмотрена как система массового обслуживания (смо). При этом случайными могут быть как моменты поступления требований на обслуживание, так и затраты на обслуживание /8/.

Основными характеристиками любой смо являются: характеристики потоков поступления требований на обслуживание, характеристики распределения времени обслуживания, структура смо.

АСОИ о ПРОС можно представить как смо следующего вида:

1) Неполнодоступная смо с потерями, на вход которой поступают два потока требований - "кадры" и "запросы".

2) Поток "кадры" можно считать детерминируемым или управляемым. Поток "запросы" случаен.

3) Распределение времени обслуживания для каждого вида требований случайно и зависит от его вида, от алгоритмов обработки и технических средств системы.

4) Число последовательных фаз, которые проходят любое требование, определяется также набором алгоритмов обработки и структурой системы обслуживания.

5) Порядок обслуживания определяется набором тех правил, которые будут определять протекание процесса функционирования системы и сводятся к организации очередей требований на обслуживание.

Представление АСОИ о ПРОС как системы массового обслуживания типа ИПС дает возможность использовать все методы исследования подобных систем и оценить ее эффективность, являющуюся функцией многих переменных, главными из которых можно считать пропускную способность системы, время ответа на запрос, коэффициент использования отдельных элементов, достоверность выдаваемых результатов и т.д. /9 - II/ .

§ 3. Возможности модели

Предполагается, что программа модели будет состоять из нескольких заменяемых блоков, которые позволят легко формировать ту или иную систему. На рис.I представлена разработанная авторами блок-схема программы модели АСОИ о ПРОС.

На рис.2 приведена схема процесса функционирования сис-

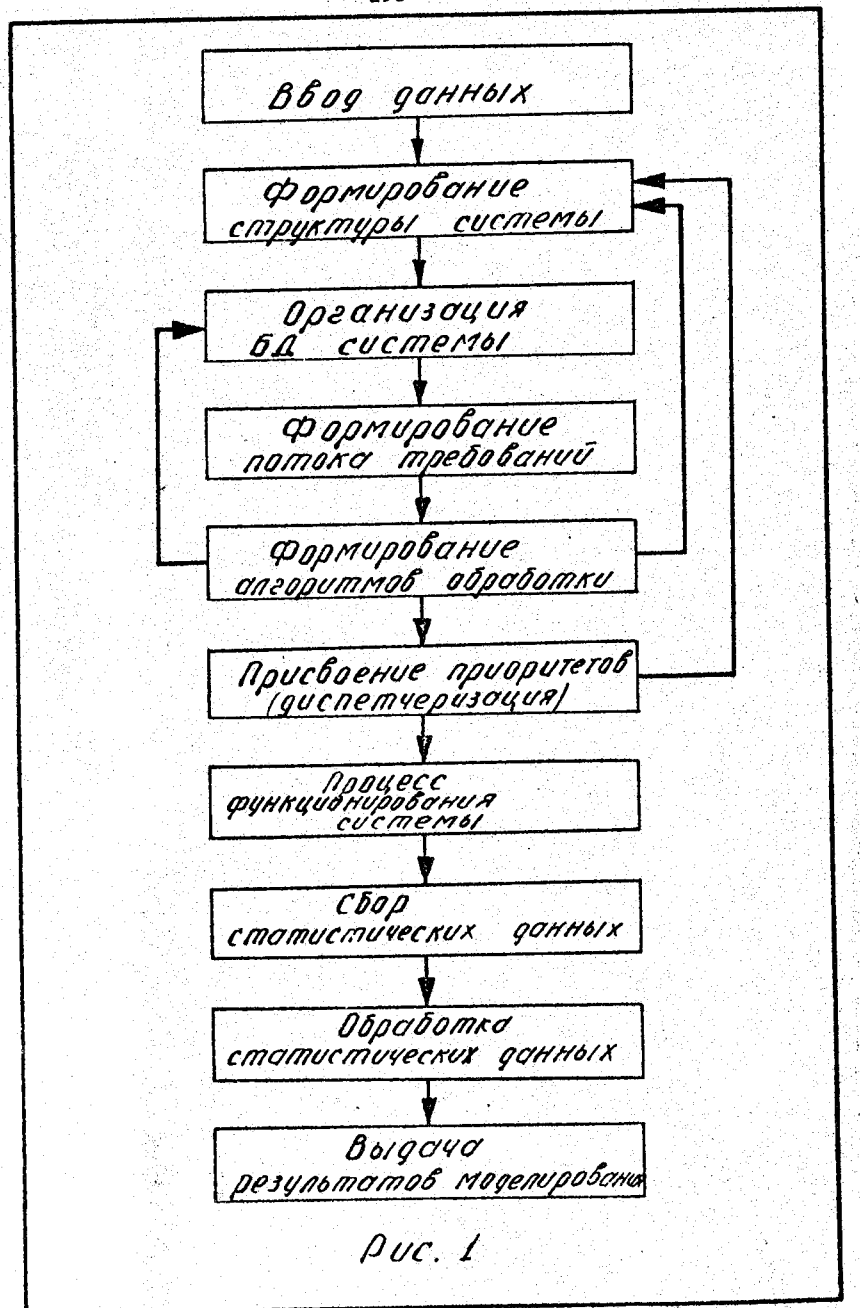

Ввод данных
Формирование структуры системы
Организация БД системы
Формирование потока требований
Формирование алгоритмов обработки
Присвоение приоритетов (диспетчеризация)
Процесс функционирования системы
Сбор статистических данных
Обработка статистических данных
Выдача результатов моделирования

Рис. 1

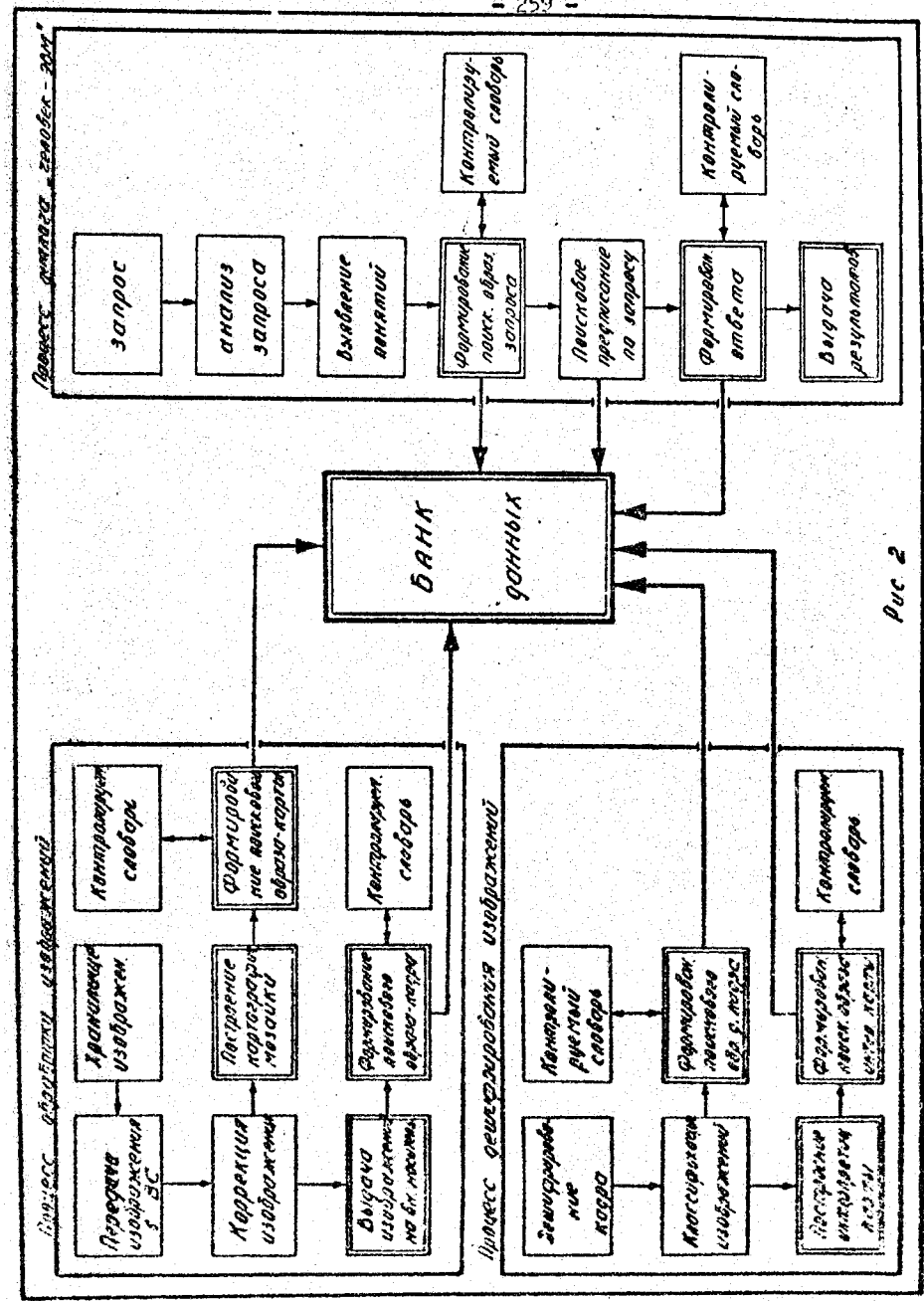

Процесс диалога „человек - ЭВМ"
Запрос
Анализ запроса
Выявление понятий
Формирование поиск. образа запроса
Контролируемый словарь
Поисковое предписание по запросу
Формирование ответа
Контролируемый словарь
Выдача результатов
БАНК данных
Процесс обработки изображений
Передача изображения в БС
Хранящееся изображ.
Контролируемый словарь
Коррекция изображения
Построение картограммы мозаики
Формирование векторов образа-карты
Выдача изображения на бит. носитель
Контролируемый словарь
Процесс декодирования изображений
Эталонное ядро
Классификация изображений
Контролируемый словарь
Формирование векторов ЕВД в. пространства
Контролируемый словарь
Формирование поиск. образа объекта
Построение интерпретации

Рис 2

темы. Она объединяет все процессы обработки информации, реализуемые системой, и является определяющей в построении модели и программы.

В модели дано качественное и количественное описание образующих ее элементов, а также описание специфики связи между элементами. Структура системы будет определяться набором технических средств, коммутационной матрицей и блоком управления.

Модель позволяет рассмотреть такие структуры как системы с многоканальной общей или раздельной по времени шиной, многомашинные многовходовые системы с однородной или разнородной структурой и несвязные вычислительные системы с автономной периферийной ЭВМ.

В модели принято, что в системе образуется два вида очереди - внешняя и внутренняя. Проблема диспетчеризации внутренних потоков информации будет решаться методом теории сетей. В качестве модели вычислений рассматривается ориентированный связный граф, вершинам которого соответствуют реализуемые алгоритмы, а структура графа определяется множеством задач, решаемых системой.

Построенная модель позволит изучить всевозможные характеристики информационных потоков внутри системы, различные характеристики состояния системы. Меняя правила присвоения приоритетов, то есть меняя правила "игры" на модели, можно будет сравнивать процессы функционирования одной и той же системы при различных режимах обработки информации.

Модель позволит установить попарную зависимость между такими характеристиками системы, как ее структура, организация БД, типы потоков и правила присвоения приоритетов путем моделирования процесса функционирования системы на ЭВМ.

Наконец, модель позволит выделить те структуры и организации системы, которые наилучшим образом (в смысле выбранных критериев оценки эффективности системы) справятся с возложенной на нее задачей.

З а к л ю ч е н и е

Анализ задач, стоящих перед АСОИ о ПРОС, и основных требований к ней позволяет определить следующие ее особенности и охарактеризовать класс систем, из которых должен быть осуществлен выбор.

Специфика рассматриваемой системы может быть выражена следующим образом:

1. АСОИ можно считать замкнутой системой, предполагая наличие в ней полного набора алгоритмов.

2. АСОИ должна иметь БД, доступный для всей системы.

3. АСОИ характеризуется большим количеством и разнообразием каналов ввода-вывода. Разнообразие это определено как временными, так и функциональными особенностями связи АСОИ с внешней средой.

4. Сложность алгоритмов обработки связана скорее с количеством операций, приходящихся на единицу информации, чем со сложностью реализуемых функций.

5. Процессы, протекающие в системе, полностью определены характером связи с внешней средой и могут быть отображены последовательностями алгоритмов из полного набора.

Перечисленные особенности АСОИ позволяют представить ее логическую структуру. Набор модулей, на котором может быть представлена эта структура, должен включать:

I. Память для банка данных, доступную для всей системы.

2. Набор центральных процессоров, наделенных функциональными возможностями, которые диктуются характером алгоритмов, управлением и памятью.

3. Набор внешних устройств, определяемый характером связи системы с внешней средой.

Предложенное описание системы отражает ее специфику. Конкретные реализации будут получаться из этого описания набором входных данных, таких, как быстродействие отдельных устройств, их разнообразие и количество, время и дополнительные средства, необходимые для технической реализации АСОИ.

Литература

I. Космическое исследование земных ресурсов. Сб.статей,"Наука", М.,1976.

2. ТИИЭР, т.60, № I0, 1972.

3. Обработка изображений при помощи ЦВМ. Сб.статей,"Мир",М., 1973.

4. М.Драммонд.Методы оценки и измерений дискретных вычислительных систем."Мир",М.,1977.

5. Ч.Мидоу.Анализ информационных систем."Мир",М.,1977.

6. Г.Сэлтон.Автоматическая обработка,хранение и поиск информации."Сов.радио",М.,1973.

7. Т.Ланкастер.Информационно-поисковые системы."Мир",М.,1972.

8. Т.Саати.Теория массового обслуживания."Мир",М.,1975.

9. Н.П.Бусленко.Моделирование сложных систем."Наука",М.,1968.

10. Н.Вирт.Системное программирование.Введение."Мир",М.,1977.

11. У.Дал,Э.Дейкстра,К.Хоор.Структурное программирование."Мир", М.,1975.

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ МНОГОШАГОВОГО ПРОЦЕССА С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Даушвили Н.М.

Задан многошаговый процесс, состоящий из системы W и количества шагов $J=\{1,2,\dots,j,\dots,m\}$. Каждый отдельный шаг со своей стороны делится на подшаги $T=\{1,2,\dots,t,\dots,d\}$.

Система W определяется следующим образом. Задан некоторый параметр, значение которого $S=const$ при $J=\{1,2,\dots,j,\dots,m\}$; W состоит из множества элементов i, каждому из которых соответствует из S значение x_i (для шага j соответственно x_{ij}).

Для каждого x_i с заданным параметром системы связана относительная эффективность элемента i – β_i. Кроме того, для каждого i задан коэффициент приведения его относительной эффективности к общей эффективности P_i. Таким образом, величина $x_i P_i \beta_i$ выражает общую эффективность элемента i.

В системе W элементы i встречаются двух родов $i^к$ и $i^о$ $(i^к=\{1,2,\dots,n_i\},\ i^о=\{n_i+1,\dots,n\})$.

Элементы $i^о$ живут на продолжении одного шага и к концу этого j шага дают эффект – $x_{i^о} P_{i^о} \beta_{i^о}$.

К новому $j+1$-му шагу в систему могут быть включены либо исключены из нее новые элементы $i^о$ с соответствующими $x_{i^о,j+1}$.

Что касается элементов $i^к$, то они живут в течение всего многошагового процесса. Эти элементы обладают периодом возмужания τ_i, так, что если элементу $i^к$ на j-м шаге отводится $x_i^к$, то использование $x_i^к$ под $i^к$ дает эф-

фект только через τ_i шагов. Все элементы i^k (для одного и того же i^k), перешедшие возраст τ_i, рассматриваются как один возмужалый элемент. В соответствии с этим все x_i^k для одного и того же i^k при $k>\tau$ объединяются.

Пусть для поддержания жизнеспособности элемента i имеется технологический процесс его обслуживания $F_i=\{1,2,\dots,f,\dots,e\}$, где $f\in F_i=(1,2,\dots,f,\dots,e)$ – отдельные, входящие в этот процесс операции. Пусть для каждой операции указаны: виды потребных ресурсов; нормативы потребности в каждом виде ресурсов; подмножество подшагов из множества T, которые указывают, когда применяется эта операция.

Пусть необходимые для поддержания жизнеспособности элемента i (относительно единицы S) общие затраты на j-ом шаге равны C_{ij} и пусть $C_{ij}=\sum_{\gamma=1}^{k} C_{ij\gamma}$, а также правила определения каждого C_γ по F_i заданы.

Введем ряд обозначений:

μ^e – количество e-го располагаемого ресурса в начале процесса;

$m_i^e(t)$ – потребность в e-м виде ресурса для элемента i (относительно единицы S) по подшагам $T=\{1,2,\dots,t,\dots,d\}$ для $e=\{1,2,\dots,p\}$;

Π_j^e – стоимость приобретения единицы e-го ресурса на j-ом шаге;

$\Pi_j'^e(\tau)$ – реализационная цена на j-ом шаге единицы e-го ресурса, находящегося в работе в течение τ шагов;

A_j^e – потребность в e-м ресурсе на j-м шаге, где

$$A_j^e=\max_{1\le t\le 73}\left\{\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{e=1}^{p} m_{ij}^e(t)\cdot x_{ij}^k+\sum_{i=n_1+1}^{n} m_{ij}^e(t)\cdot x_{ij}^0\right\};$$

$\Delta A_j^e>0$ – необходимый прирост e-го ресурса на j-ом шаге;

$\Delta A_j^e<0$ – высвободившиеся ресурсы на j-ом шаге, где

$$\Delta A_j^e=A_j^e-A_{j-1}^e;$$

$\sum_{e=1}^{p}\Pi_j^e\cdot\Delta A_j^e$ – затраты на пополнение фонда ресурсов на j-ом шаге;

$\sum_{e=1}^{p}\Pi_j'^e(\tau)\cdot\Delta A_j^e$ – доходы от реализации высвободившихся ресурсов на j-ом шаге.

Модель многошагового процесса с переменной структурой принимает следующий вид:

Дано

1) для $j=1$, $x_{ij}^0=a_i^0$, $x_{ij}^k=a_i^k$;

2) для каждого $j\in J=\{1,2,\dots,m\}$,

$\beta_{ij}^0,\beta_{ij}^k,P_{ij}^0,P_{ij}^k,C_{ij}^0,C_{ij}^k,\Pi_{ij}^e,\Pi_{ij}'^e$

3) $\mu^e=a^e$, $e=1,2,\dots,p$.

Требуется подбором плана $X=(x_{ij}^k,x_{ij}^0)$ элементам W при $j=m$ придать значения $x_{ij}^0=b_{im}^0$ и $x_{ij}^k=b_{im}^k$ с тем, чтобы целевая функция $L(x)=\max$, где

$$L(x)=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{k=1}^{\tau_i}\beta_{ij}^k P_{ij}^k x_{ij}^k+\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=n_1+1}^{n}\beta_{ij}^0 P_{ij}^0 x_{ij}^0-$$

$$-\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{k=1}^{\tau_i}C_{ij}^k\cdot x_{ij}^k-\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=n_1+1}^{n}C_{ij}^0\cdot x_{ij}^0-$$

$$-\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{p}\Pi_j^e\cdot\Delta A_j^e+\sum_{j=1}^{m}\sum_{e=1}^{p}\Pi_j'^e(\tau)\cdot\Delta A_j^e=\max,$$

при следующих ограничениях:

1. $\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{k=1}^{\tau_i}x_{ij}^k+\sum_{i=n_1+1}^{n}x_{ij}^p=S$, $j=1,\dots,m$;

2. $x_{i,j+1}^{k+1}=x_{ij}^k$, $(k<\tau_i)$;

3. $x_{i,j+1}^{r_i} = x_{ij}^{r_i} + x_{ij}^{r_{i-1}}$

4. $\sum_{i=1}^{n_1} x'_{i,j+1} = \sum_{i=n_1+1}^{n} \left(x_{ij}^{0} - x_{i,j+1} \right)$;

5. $x_{ij}^{k} \geqslant 0$, $x_{ij}^{0} \geqslant 0$.

Решение этой задачи может быть осуществлено методом математического программирования.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ ЧЕЛОВЕКОМ (СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОИЗВЕДЕНИЙ ИСКУССТВА)

Орлов Ю.К.

Вопрос переработки информации человеком находится, можно сказать, в эпицентре проблемы искусственного интеллекта. Обычно он исследуется (или моделируется) на уровне достаточно элементарных актов восприятия и принятия решений. Но можно подойти к проблеме и с противоположного конца, выявив некоторые общие закономерности при экстремальных загрузках мозга, когда он в короткое время перерабатывает и запоминает очень большое количество информации. Исследование таких закономерностей может пролить свет на общую иерархию перерабатывающих информацию мозговых структур.

Одной из ситуаций, в которых мозг максимально загружен непрерывно поступающей информацией, можно считать восприятие произведений искусства. А тот факт, что человек при этом ещё и получает удовольствие и стремится подчас к повторному восприятию уже знакомых произведений, свидетельствует, помимо всего прочего, о том, что закодированная в звуках, красках и символах информация оптимально согласована с воспринимающими и перерабатывающими информацию механизмами мозга.

На сегодняшний день мы совершенно не в состоянии анализировать работу мозга во время восприятия произведений искусства, не разрушая самого эстетического впечатления. Однако более чем правдоподобная гипотеза об оптимальном согласовании художественной информации с каналом её восприятия в голове

человека позволяет надеяться, что если удастся обнаружить общие закономерности организации такой информации, то, в конце концов, их удастся интерпретировать в терминах мозговых структур.

В данной работе изложены результаты исследования статистической (или, лучше сказать, частотной) структуры произведений искусства. Были обнаружены некоторые очень общие закономерности в произведениях самых различных видов искусства - литературы, живописи и музыки. Однако изложение удобнее всего вести, если описать реализацию этих закономерностей на литературных произведениях.

Прошло уже около 60 лет с тех пор, как была впервые наблюдена закономерность, получившая впоследствии название закона Ципфа. Если пересчитать все слова в некоторой лексической выборке и упорядочить их по убыванию частот их встреч в этой выборке, то частота i -го от начала списка слова приближается выражением:

$$P_i = \frac{K}{i}, \qquad (I)$$

K - константа, близкая к 0,I. Будучи изображена в билогарифмическом масштабе, эта гиперболическая функция представляется прямой линией, наклоненной под углом 45^0 к координатным осям. Поэтому в дальнейшем будем говорить о "прямой Ципфа", разумевая графическое изображение этой закономерности в билогарифмическом масштабе.

Дальнейшее, с одной стороны, подтвердило распространенность этой закономерности (её обнаружили не только в лингвистике, но и в демографии, экономике, науковедении, библиографии и многих других областях), а с другой стороны, обнаружились

некоторые весьма характерные отклонения, почти столь же распространенные, как и сама основная форма закономерности /I/. Во-первых, очень часто частоты наиболее частых слов оказывались ниже прямой /I/. Для описания этого феномена подошла полученная Б.Мандельбротом формула

$$P_i = \frac{K}{(B+i)^{\gamma}}, \qquad (2)$$

где K, B и γ - константы. Эта формула была получена при исследовании оптимизации процедуры блочного кодирования. Наличие константы B замедляет скорость падения частот в начале частотного ряда.

В зоне же редковстречающихся слов обнаружились два типа отклонений. Во-первых, оказалось, что редких слов, имеющих одну и ту же абсолютную частоту, очень много и тем больше, чем меньше их частота. В частности, слов, каждое из которых встречается в выборке только один раз, около половины всего словарного запаса. Это приводит к образованию в нижней части эмпирического частотного графика горизонтальных площадок, образующих некоторое подобие лесенки со ступеньками разной длины и высоты. Кроме того, оказалось, что вся эта ступенчатая часть нередко отклоняется от прямой Ципфа как кверху, так и книзу. Все эти отклонения стали, в конце концов, рассматриваться как некоторое неотъемлемое свойство выборок, а закон Ципфа - как весьма приблизительный закон общеязыковой природы. Механизм образования этих отклонений описать никто не мог.

Проделанный нами статистический анализ показал /I/, что отклонения в зоне редких слов однозначно связаны с объемом взятой лексической выборки. Оказалось, что если взят статистически однородный текст, то закон Ципфа - Мандельброта (2) мо-

жет быть выполнен в нем лишь на одном-единственном значении объема выборки (с точностью до чисто статистического разброса). На всех остальных объемах неизбежны закономерные отклонения в ступенчатой части графика. Так, если на "объеме Ципфа" (т.е. на том объеме, на котором частоты всех слов, включая и ступенчатую часть, располагаются прямолинейно) основные параметры выборок связываются друг с другом соотношениями (для случая $\gamma = 1$ в формуле /2/):

$$p_i = \frac{1/\ln(Z p_1)}{1/p_1 \ln(Z p_1) - 1 + i} \qquad (3)$$

$$n(Z) = \frac{Z}{\ln(Z p_1)}, \qquad (4)$$

$$n(m, Z) = \frac{n(Z)}{m(m+1)} \qquad (5)$$

где Z - объем выборки ("объем Ципфа"), $n(Z)$ - словарь на этом объеме, $n(m, Z)$ - число разных слов, каждое из которых имеет абсолютную частоту m и p_1 - относительная частота самого частого слова в выборке, то на произвольном объеме $N \neq Z$ соотношения следующие:

$$n(N|Z) = n(Z) \frac{\ln \frac{Z}{N}}{\frac{Z}{N} - 1} \qquad (6)$$

$$n(m, N|Z) = \frac{n(Z)}{m!} \left(\frac{N}{Z}\right)^m \left(\frac{1-x}{x} \ln(1-x)\right)^{(m)}; \quad x = 1 - \frac{N}{Z}. \qquad (7)$$

Здесь $n(N|Z)$ - объем словаря на выборке объемом N словоупотреблений из такого статистически однородного текста, из которого на выборках объема Z наблюдается ципфовская структура /3-5/, $n(m, N|Z)$ - число m-разовых слов в этой выборке. Все величины в левых частях формул (4 - 7) имеют смысл математических ожиданий. Частоты частых слов на выборке произвольного объема N в силу однородности текста продолжают описываться частотным рядом (3). Таким образом, отклонения ступенчатой части графика оказались неизбежными в том случае, когда объем взятой выборки отличается от объема Ципфа для данного текста. Кроме того, значение объема Ципфа (при прочих равных условиях) оказалось определяющей величиной для словарного запаса текста, поскольку

$$n(N|Z_1) > n(N|Z_2), \quad \text{если} \quad Z_1 > Z_2, \qquad (8)$$

т.е. чем больше значение объема Ципфа для данного текста, тем больший словарь наблюдается на выборке произвольного фиксированного объема N.

Следует обратить внимание на важную особенность полученных в нашем анализе соотношений - все содержащиеся в них величины непосредственно наблюдаются в выборке. Это позволяет непосредственно подставлять наблюдаемые параметры выборок в выражения (3-7) и затем смотреть, насколько хорошо совпадают теоретические и эмпирические значения. Сопоставление с эмпирическими данными позволило заметить следующее явление.

При подстановке в качестве Z объемов крупных (длиннее 10^4 словоупотреблений) литературных произведений их словарный запас и частотная структура вполне удовлетворительно (с точностью 20% по словарному запасу) описывались формулами (3)-(5). Если же подставлялись данные отрывков и произвольных наборов текстов в одну выборку, то ошибки по словарному запасу достигали 1,5 - 2 крат; соответственно не совпадали ча-

стотные ряды и ход кривой в зоне редковстречающихся слов /I,2/.

Таким образом, оказалось, что закон Ципфа - Мандельброта в своей "канонической" форме, без искривления ступенчатых частей графиков, характерен именно для полных текстов отдельных крупных литературных произведений. Это обстоятельство, в силу неравенства (8), влечет за собой нетривиальное следствие: чем больше текст, тем больше разных слов должно приходиться в этом тексте на произвольную единицу его длины. Этот вывод был проверен на произведениях Л.Н.Толстого и Д.Джойса /3/. Рост словарного запаса в этих текстах подчинялся выражению (6) при подстановке в качестве Z полной длины различающихся по объему текстов. Для очень крупных текстов, которые имеют выделенные автором крупные части (тома, книги и т.п.), в качестве Z приходилось подставлять длины таких частей. (Иными словами, закон Ципфа-Мандельброта в этом случае реализуется "по частям").

Если же величину Z использовать в качестве подбираемого параметра, то оказалось, что изложенная статистическая модель текста, приводящая к соотношениям (3 -7), описывает любые тексты, с любыми отклонениями ступенчатых частей. При этом величина объема Ципфа уверенно коррелирует с объемами полных текстов отдельных литературных произведений. Для произвольных же наборов текстов подобный коэффициент корреляции практически равен нулю. Для нехудожественных текстов (технических, философских, научных) наблюдается слабая корреляция, существенно слабее, чем в случае текстов художественных /4/.

Подобное явление невозможно объяснить общими статистическими свойствами языка. Зависимость лексической концентрации и частотной структуры текста от его полного объема можно объяснить только целенаправленными усилиями автора, хотя, по-видимому, эти усилия совершенно им не осознаются. А раз подобное согласование происходит, нельзя не считать, что по тем или иным причинам реализация именно "канонической" формы закона Ципфа-Мандельброта на полном тексте литературного произведения весьма важна для "оптимального" восприятия этого произведения человеком.

Можно высказать целый ряд гипотез по этому поводу, однако сейчас нет возможности на этом останавливаться. Скажу лишь, что на музыкальном и живописном материале обнаружились подобные явления. Совершенно аналогичное согласование частотной структуры текста с его полным объемом обнаружил на музыкальных текстах сотрудник Тбилисской государственной консерватории М.Г.Борода /5/. Распределение долей цветовых площадей в произведениях живописи также подчиняется обобщенному закону Ципфа-Мандельброта (это показано в выполненной под руководством автора дипломной работе Б.А.Волошина) /6/.

Для осуществления наблюдаемого согласования между частотной структурой и полной длиной текста (т.е. для реализации закона Ципфа-Мандельброта на полной длине текста) автор должен с самого начала придерживаться одной из семейства кривых /6/, а именно той, которая определяется полной длиной текста, подставленной в качестве параметра Z. Трудно себе представить, чтобы этот процесс шел, подобно поезду, по определенным с самого начала рельсам (т.е. заранее были бы строго выбраны вероятности всех слов, которые должны войти в текст, и выбор каждого очередного слова определялся бы случайным розыгрышем одного из этих слов). Скорее всего, должны существовать процессы типа слежения, сличения фактической кривой роста словаря с желаемой и последующей коррекции процесса (например, увеличения

числа ранее не встречавшихся в тексте слов, если кривая роста словаря идет ниже желаемого уровня, либо наоборот). Поскольку естественно предположить, что в отношении накопленной величины словарного запаса чувствительность человека, как и к другим сенсорным величинам, носит пороговый характер, неизбежны систематические отклонения, флуктуации кривой роста словарного запаса относительно "идеальной" кривой /6/. Флуктуации эти должны быть почти периодическими. Подробнее этот вопрос рассматривается в работе /7/.

Таким образом, организация больших массивов информации, предназначенных для оптимального их восприятия человеком, обнаруживает четкие закономерности, носящие отчасти парадоксальный характер (большая лексическая концентрация в больших по объему текстах; другими словами, чем больше хочет человек говорить, тем меньше он должен повторяться, и наоборот). Учет этих закономерностей как при моделировании мышления, так и при организации диалога человек - машина должен привести к более углубленному пониманию происходящих процессов.

В заключение следует отметить, что информационные потоки также имеют "квазициппфовскую" структуру и разработанная модель частотной структуры лексики вполне пригодна для расчета объема и организации банка данных в информационно-поисковых системах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю.К.Орлов. В сб. "Вычислительная лингвистика", "Наука", М., 1976.
2. Ю.К.Орлов. НТИ, сер.2, № 8, 1970.
3. И.Ш.Надарейшвили, Ю.К.Орлов. Сообщения АН ГССР, т.64, № 3, 1971.
4. Ю.К.Орлов. Модель частотной структуры лексики. "Исследования в области вычислительной лингвистики", ч.I, вып.II, изд. МГУ (в печати).
5. М.Г.Борода. Сообщения АН ГССР, т.76, № 2, 1974.
6. Б.А.Волошин, Ю.К.Орлов. Обобщенный закон Ципфа-Мандельброта и распределение долей цветовых площадей в произведениях живописи. ВИНИТИ, № 4323-72.
7. Г.Ш.Надарейшвили, И.Ш.Надарейшвили, Ю.К.Орлов. Нестационарные явления в процессе порождения текста. См. настоящий сборник, стр.276.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОРОЖДЕНИЯ ТЕКСТА

Надарейшвили Г.Ш., Надарейшвили И.Ш.,
Орлов Ю.К.

Изложенный в работе / I / факт согласования частотной структуры лексики литературного произведения с его длиной вызывает целый ряд вопросов, в первую очередь вопрос: к а к осуществляется такое согласование? Поскольку необходимость этого согласования диктует выбор определенной кривой роста словарного запаса, то это значит, что определенная стратегия наращивания новых слов в тексте должна быть выбрана с самого начала.

Возможны два случая. Либо заранее выбираются вероятности всех слов потенциального словаря текста, а затем выбираются слова в соответствии с этими вероятностями, либо должны существовать некоторые следящие механизмы, сличающие фактический рост словарного запаса текста с необходимым и осуществляющие нужную коррекцию. В первом случае вероятность встречи того или иного слова не должна зависеть от его местоположения в тексте; распределение позиций, занятых одним и тем же словом, по длине текста должно быть совершенно случайным.

Проведенная в работах / 2,3 / проверка этого предположения не подтвердила его, по крайней мере в области частых слов. Но поскольку частые слова составляют сравнительно незначительную часть словаря текста, основную роль в процессе наращивания словарного запаса играют слова редкие. В работе / 4 / была

проведена проверка однородности текста в области редких слов, встречающихся два, три и т.д. раз в обследуемой выборке. Измерялось расстояние между первым и последним вхождениями каждого такого слова в текст как число словоупотреблений между этими вхождениями; затем вычислялось среднее расстояние для всех слов данной частоты (например, для всех двухразовых слов) и сличалось с ожидаемым расстоянием, вычисленным в предположении о статистической однородности текста (независимости употреблений слов). Поскольку оказалось удобным работать с нормированной величиной x, представляющей собой отношение расстояния к объему выборки, то математическое ожидание $E(x)$ для слов с частотой m равно:

$$E(x) = \frac{m-1}{m+1} \qquad (1)$$

при соответствующей дисперсии:

$$\sigma^2(x) = \frac{2(m-1)}{(m+1)^2(m+2)}. \qquad (2)$$

Эти два выражения позволяют построить доверительный интервал по правилу "трех сигм":

$$\bar{x} \pm 3\frac{\sigma(x)}{\sqrt{K}},$$

где K - число разных m -разовых слов, а $\bar{x}$ - арифметическое среднее наблюденных значений x для данного m.

Обследовались как литературные, так и музыкальные тексты, и во всех случаях было зафиксировано статистически достоверное явление скучивания редкочастотных слов, поскольку среднее расстояние оказывалось существенно меньше ожидаемого, вычислявшегося по формуле / I /. Это явление наблюдалось для слов с частотами до m = 10÷15 (выше число K слов с данной частотой ока-

зывалось слишком незначительным для анализа).

Таким образом, и в зоне редковстречающихся слов статистическая однородность отсутствует, поскольку употребление того или иного слова в некоторой позиции вызывает повышение вероятности встречи этого же слова в окрестностях этой позиции.

Аналогичные подсчеты были проведены и на слоговом уровне. В стихотворении Г.Табидзе "Могильщик" обнаружилось отчетливое скучивание (таблица I):

Таблица I

m	k	$\bar{x}$	$E(x)$	$\sigma(x)$	$3\frac{\sigma(x)}{\sqrt{k}}$	$\frac{E(x)-\bar{x}}{3\frac{\sigma(x)}{\sqrt{k}}}$
2	97	0,209	0,333	0,236	0,072	I,73
3	35	0,450	0,500	0,224	0,II3	0,44
4	23	0,4I3	0,600	0,200	0,I25	I,49
5	22	0,500	0,667	0,I78	0,II3	I,48

Основным показателем является последний столбец, представляющий отношение разности между ожидаемым и наблюденным значениями к доверительному интервалу. В случае, если эта величина превышает по модулю единицу, наблюдаемое расхождение значимо. Как видно из табл.I, только в случае трехразовых слогов наблюдаемая скученность $\bar{x}$ = 0,450 против ожидаемого значения $E(x)$ = = 0,5 может быть объяснена случайными причинами.

В данном случае естественно объяснить скучивание группировкой рифм, ассонансов и аллитераций в поэтическом тексте. Поэтому был проведен контрольный подсчет на отрывке прозы такого же объема (N = I762 слога) того же автора (рассказ "Рати"; все

подсчеты велись по оригинальному грузинскому тексту). Результаты подсчета приведены в табл.2. Хотя и в этом случае средние значения расстояний меньше ожидаемых, однако говорить о статистической значимости этого явления не приходится.

Такие же подсчеты на текстах А.С.Пушкина (стихотворение "Наполеон" объемом I0I7 слог ; такие же по объему отрывки из "Капитанской дочки" и "Истории Пугачевского бунта") не обнаружили подобной разницы между прозой и поэзией. Все средние расстояния между крайними употреблениями слогов данной частоты оказались в пределах доверительного интервала. Однако более детальное исследование расстояний между двухразовыми слогами в стихотворении "Наполеон" показало, что число близко расположенных слогов (расстояние между которыми не превышает 200 слогов) значимо больше ожидаемого. Но этот эффект маскируется противоположным - повышенным числом далеко расположенных слогов. В прозе же распределение длин интервалов межслоговых расстояний не отличается от случайного. Таким образом, и для текстов А.С.Пушкина обнаруживается влияние общей организации текста на его статистическую "микроструктуру".

На лексическом уровне в тех случаях, когда позиции слов четко структурированы, удается заметить своего рода тяготение слов той или иной частоты к определенным позициям. Так, например, в "Витязе в тигровой шкуре" обнаруживается повышенная концентрация редкочастотных слов в концах строк / 5 /; похожее явление обнаружено также на вальсах Ф.Шопена / 6 / - наиболее редкие звуки мелодии статистически значимо концентрируются на сильных долях такта.

Все эти данные свидетельствуют не только о том, что распределение местоположений слов по длине текста далеко от слу-

Таблица 2

m	k	$\bar{x}$	$E(x)$	$\sigma(x)$	$3\frac{\sigma(x)}{\sqrt{k}}$	$\frac{E(x)-\bar{x}}{3\frac{\sigma(x)}{\sqrt{k}}}$
2	65	0,309	0,333	0,236	0,088	0,275
3	26	0,373	0,500	0,224	0,130	0,980
4	23	0,552	0,600	0,200	0,125	0,384
5	14	0,593	0,667	0,178	0,143	0,518

чайного; они свидетельствуют также о наличии у п р а в л е н и я п о ч а с т о т е в процессе порождения текста, когда слово для данной позиции выбирается (помимо всего прочего) также и с учетом его частоты (с субъективно-авторской точки зрения процесс, возможно, носит обратный характер: удачно найденное в некоторой "ключевой" позиции слово в дальнейшем не повторяется, чем и определяется его частота; однако на ход дальнейших рассуждений подобная интерпретация повлиять не может).

Но если нельзя говорить о заранее фиксированных вероятностях каждого слова в тексте и независимом выборе слова для той или иной позиции, то для того, чтобы объяснить наблюдаемое согласование частотной структуры текста с его полной длиной, приходится признать существование следящих и корректирующих механизмов, обеспечивающих рост словаря по определенной кривой и (в конечном итоге) реализацию канонической формы закона Ципфа-Мандельброта на полном объеме текста. Общим свойством таких механизмов, независимо от их конкретного устройства, являются периодические или почти периодические колебания около некоторого установочного уровня. Значит, и кривая роста словаря должна обнаружить подобные периодические флуктуации.

По ряду причин непосредственное исследование таких микрофлуктуаций непосредственно на кривой роста словарного запаса затруднительно. Главная из них та, что функция роста словаря в статистически-однородном тексте неубывающая, а последовательные приращения словарного запаса на равных участках текста систематически убывают. Процесс же дан в единственном экземпляре и прибегнуть к каким-либо усреднениям по классу процессов невозможно. Поэтому было предпринято исследование распределения по длине текста местоположений одноразовых слов. Число этих слов очень велико (в отрывках из текстов оно превышает половину словарного запаса), поэтому общие изменения процесса наращивания новых слов обязательно должны сказаться и на накопленном числе одноразовых слов. Распределение же местоположений одноразовых (в данной выборке) слов по длине текста для статистически однородного текста равномерно, что чрезвычайно упрощает анализ.

Были исследованы следующие тексты: "Пиковая дама" А.С.Пушкина (полный объем N = 6856 словоупотреблений), запись былины "Илья Муромец и Калин-царь" (N = 3380) и четыре отрывка из текстов Л.Н.Толстого, каждый из которых представлял первые 10000 словоупотреблений от начала текста, - "Казаки", "Война и мир", "Воскресение" и "Крейцерова соната". Каждая выборка была поделена на последовательные непересекающиеся подвыборки по 200 словоупотреблений, и в каждой из этих подвыборок подсчитывалось количество тех слов, каждое из которых встретилось ровно один раз во всей выборке. Затем было подсчитано среднее и среднее квадратичное отклонение для каждой из выборок.

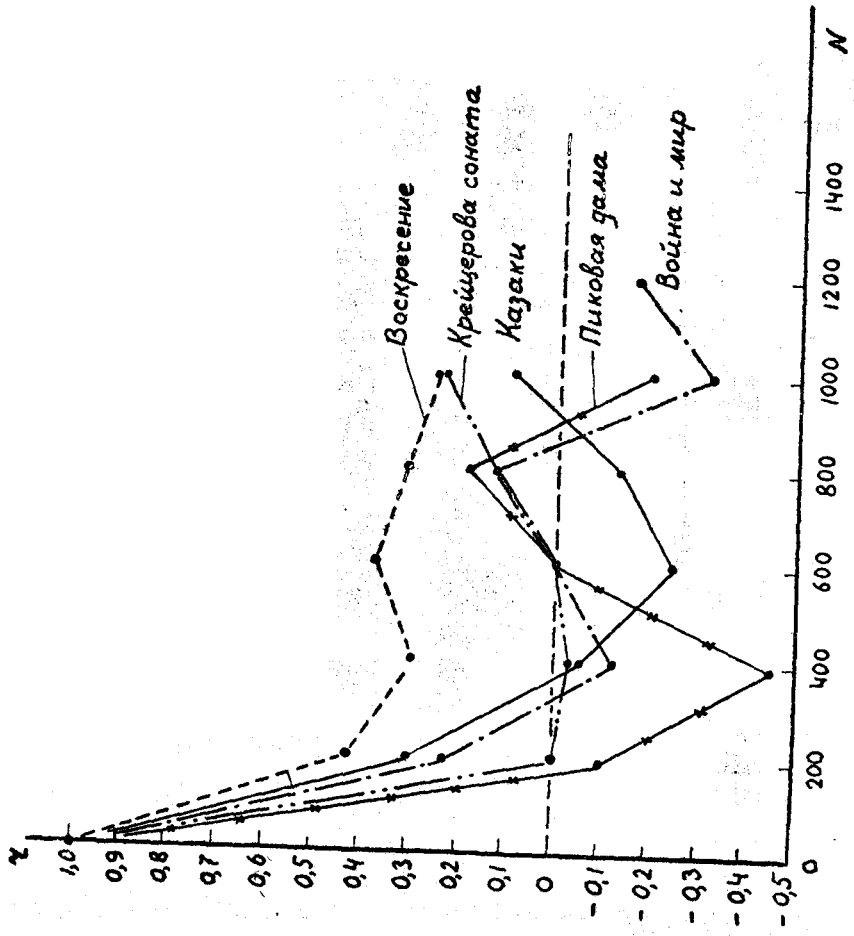
Среднее квадратичное отклонение для всех выборок оказалось в 1,5 - 2 раза больше ожидаемого, подсчитанного исходя из ги-

потезы об однородности текста, и во всех случаях уверенно вышло за трехсигмовый доверительный интервал для этой величины. Таким образом, статистическая однородность текста не была обнаружена и для распределения одноразовых слов.

Затем были исследованы последовательные отклонения числа одноразовых слов в подвыборках относительно среднего для данной выборки. На рисунке показаны автокорреляционные функции для последовательных значений знака отклонения от среднего (все положительные отклонения принимались при вычислении автокорреляционной функции за +I, отрицательные - за -I). Оказалось, что действительно периоды положительных отклонений (т.е. участков текста, на которых плотность одноразовых слов выше средней) сменяются периодами отрицательных отклонений и этот процесс довольно регулярен. Два текста ("Пиковая дама" и "Война и мир") обнаружили даже по две полуволны отрицательной корреляции, что свидетельствует о четко выраженной периодичности.

Единственный текст, не обнаруживший выраженной периодичности при сильной положительной корреляции - "Воскресение" Л.Н.Толстого. Это связано с тем, что большинство отрицательных отклонений сгруппировано в первой половине выборки, а большинство положительных - во второй половине. Так что если в данном случае периодичность и имеется, то длина ее волны превышает объем обследованной выборки.

Для остальных текстов, как видно из рисунка, длина волны (средняя длина зоны сгущений + зона разряжений) лежит в пределах 500 - 1000 словоупотреблений, что составляет 2 - 4 страницы обычного книжного формата. Если следовать гипотезе о наличии следящих механизмов, оценивающих и корректирующих рост словаря в порождаемом тексте (первое следствие которой подтвержда-



ет анализируемый рисунок), то это тот объем текста, на котором человек оценивает фактическое направление кривой роста словаря и вносит необходимые коррективы.

С содержательно-литературоведческой стороны можно, однако, заметить, что 2 - 4 страницы - это типичный объем небольших главок (обозначаемых обычно цифрами) или развернутых эпизодов в повествовании. Ясно, что в начале каждого такого эпизода в связи с новым местом действия, новыми персонажами и т.п. прирост новых слов должен быть больше, к концу же - должен несколько упасть. Чередование таких главок или эпизодов вполне может объяснить наблюдаемую корреляцию. Но, с другой стороны, само появление очередной главки может быть вызвано необходимостью увеличить прирост новых слов - ведь повышенный рост лексики не может возникнуть на "пустом" в повествовательном смысле месте.

Действительно, большие по объему тексты, имеющие повышенную лексическую концентрацию, характеризуются большим числом действующих лиц, более сложно взаимодействующих друг с другом, большим разнообразием социальной среды и фона, на котором происходит действие; часто к этому добавляются смена "точек зрения", с которых читатель смотрит на происходящее, и другие приёмы. Таким образом, можно подойти к мысли о том, что каноническая форма закона Ципфа-Мандельброта, реализуемая на полном объеме произведения, представляет собой своего рода ф о р м о о б р а з у ю щ и й и н в а р и а н т для литературного текста, диктующий, если можно так выразиться, некоторые количественные характеристики композиции повествования.

Но какова бы ни была содержательная интерпретация наблюдаемых явлений, статистический анализ текста выявляет объективно существующие закономерности его организации и структуры, а тем

самым и порождающих его механизмов.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.К.Орлов. Некоторые аспекты организации информации человеком. См.настоящий сборник.
2. В.П.Токарев, Т.А.Якубайтис. Математико-статистическая модель распределения лексем. "Матем.методы в языкознании"."Зинатне", Рига, 1969.
3. К.Б.Бектаев, К.Ф.Лукьяненков. В сб."Статистика речи и автоматический анализ текста". "Наука", Ленинград, 1971.
4. М.Г.Борода, И.Ш.Надарейшвили, Ю.К.Орлов, Р.Я.Читашвили. "Семиотика и информатика", вып.9, 1977.
5. И.Ш.Надарейшвили, Ю.К.Орлов.Сообщения АН ГССР, т.55, №2,1969.
6. М.Г.Борода, Ю.К.Орлов. Сообщения АН ГССР, т.57, №2, 1970.

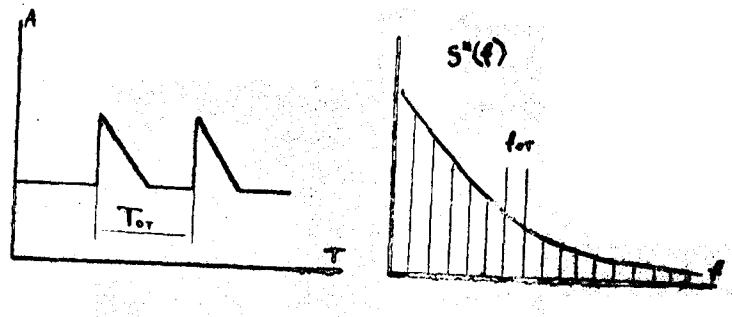
ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Киселев В.И.

В работе описывается простой алгоритм определения текущего значения частоты основного тона (ОТ). Алгоритм реализуется на ЭВМ как часть пакета программ для определения акустических параметров речи. Исходным материалом для работы алгоритма служит мгновенный спектр звука речи, полученный на ЭВМ разложением отрезка сигнала в ряд Фурье либо использованием алгоритма БПФ (быстрое преобразование Фурье).

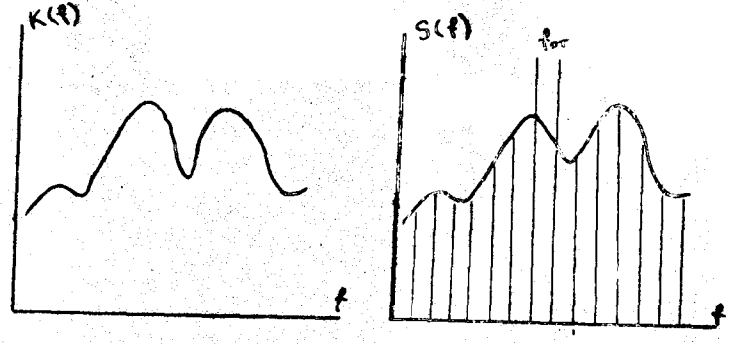
Имеется несколько методов выделения ОТ аппаратными и вычислительными средствами /I/. Эти методы можно разделить на два класса: а) методы, использующие периодичность звукового сигнала и б) методы, использующие некоторые свойства структуры спектра сигнала. Предпочтение следует отдать спектральным методам, особенно при решении задач автоматического анализа речи. Спектральные методы определения частоты основного тона надежнее работают при наличии значительного уровня шума, т.к. форма сигнала в этом случае может существенно измениться, а форма спектра изменяется незначительно.

Известно, что спектр звука речи формируется следующим образом. Источник основного тона (голосовые связки) генерируют звуковые импульсы треугольной формы (см. рис.I а) с периодом $T_{от}$ = 3 ÷ I4 мсек. Спектр такого сигнала изображен на рис.Iб. Затем звуковой сигнал проходит через речевой тракт, имеющий некоторую передаточную функцию $K(f)$ (см. рис.2а), и его спектр



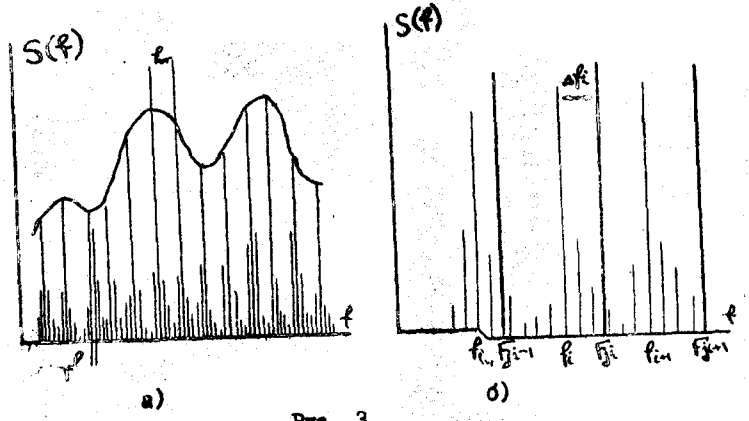
а) б)

Рис. I



а) б)

Рис. 2



а) б)

Рис. 3

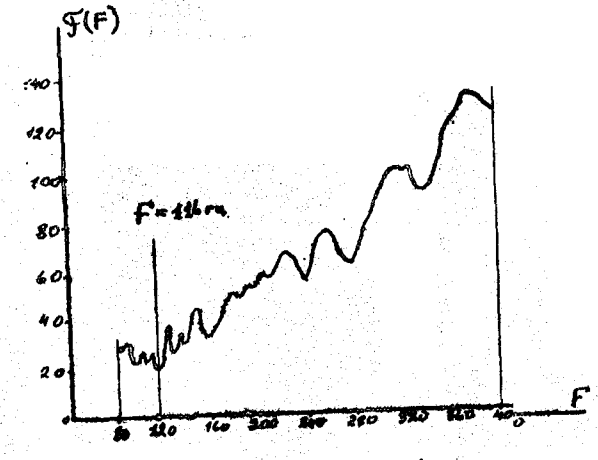


Рис. 4

$S(f)$ на выходе принимает вид: $S(f) = S^{*}(f) \cdot K(f)$ (рис.2б). Расстояние между соседними спектральными отсчетами равно частоте основного тона $f_{от} = \frac{1}{T_{от}}$ /2,3/. Несколько иная картина получается, если разложить сигнал в ряд Фурье с периодом $T > T_{от}$ (или с частотой $f = \frac{1}{T} < f_{от}$). Число спектральных отсчетов увеличивается, расстояние между ними будет равно $f < f_{от}$, и для частот, близких к гармоникам $f_{от}$, мы будем иметь локальные максимумы амплитуд спектральных составляющих (рис. 3а). Огибающая спектра по этим максимумам будет иметь ту же форму, что и огибающая по гармоникам ОТ /I/.

Обычно алгоритмы выделения ОТ определяют расстояние между максимумами в спектре и, предполагая, что эти расстояния кратны $f_{от}$, оценивают значение $f_{от}$ /I/. Но в спектре звука речи не всегда присутствуют все спектральные составляющие, а это значит, что расстояние между максимумами могут быть гораздо больше $f_{от}$ и вместо частоты ОТ может выделиться одна из её гармоник.

Предлагается следующий подход. Вычислим мгновенный спектр звука речи по частоте f, заведомо меньшей $f_{от}$ ($f < 80$ гц). Пусть F какая-то частота из области допустимых значений ОТ, т.е. 80 гц $< F <$ 400 гц. Очевидно, если $F = f_{от}$, то положение гармоник частоты F в спектре будет совпадать с положением спектральных максимумов, либо эти частоты будут очень близки. Пусть f_i – некоторый спектральный максимум. На расстоянии $\Delta f_i \leqslant \frac{1}{2} F$ от f_i находится некоторая гармоника F_{ji} частоты F (рис. 3б). Эта картина общая для любых значений F, но в случае $F = f_{от}$ расстояния Δf_i будут минимальными. Построим функцию:

$$\mathcal{F}(F) \triangleq \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta f_i}{\sum_{i=1}^{N} sign(\Delta f_i)+1}, \qquad (1)$$

где

$$sign(\Delta f_i) = \begin{cases} 1, & \Delta f_i > 0 \\ 0, & \Delta f_i = 0 \end{cases} \qquad (2)$$

Функция $\mathcal{F}(F)$ представляет собой усредненную разность частот спектральных максимумов и ближайших гармоник частоты F (усреднение проводим по ненулевым значениям Δf_i). Функция $\mathcal{F}(F)$ зависит от частоты F и N параметров - частот N некоторых максимумов спектра; эта функция положительна и в случае полного совпадения частот спектральных максимумов с гармониками частоты F равна 0 ; если же частоты максимумов не точно совпадают с гармониками F , то функция имеет в F минимум.

Таким образом, для определения частоты ОТ нам необходимо найти положение нескольких максимумов спектра и затем определить минимум функции $\mathcal{F}(F)$. Значение частоты F , для которой функция $\mathcal{F}(F)$ имеет минимум, будем считать приближенным значением частоты ОТ. На рис. 4 приведен пример функции $\mathcal{F}(F)$ для частоты ОТ, равной II2 гц.

Эксперимент показывает, что большая точность обеспечивается на максимумах низкочастотной части спектра (до 2000 гц). У функции $\mathcal{F}(F)$ возможны несколько равных минимумов, в этом случае считаем частотой ОТ минимальную из тех частот, в которых $\mathcal{F}(F)$ имеет минимум.

Алгоритм был проверен на ЭВМ "Реалите-20" и показал удовлетворительную точность при N = I0 ÷ I5 (разность между значениями частоты ОТ, вычисленными данным алгоритмом и некоторыми из обычно употребляющихся алгоритмов, составляет 4-5 гц).

ЛИТЕРАТУРА

I. Вокодерная телефония. Сб. под ред. А.А.Пирогова. "Связь", М., I074.

2. Дж. Фланаган. Анализ, синтез и восприятие речи. "Связь", М., I968.

3. Л.В. Бондарко. Звуковой строй современного русского языка. "Просвещение", М., I977.

ГЛАВА II

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ

ПОИСК КОМПРОМИССНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ЛИЦОМ, ПРИНИМАЮЩИМ РЕШЕНИЕ

Жуковин В.Е., Смуров Н.Н., Киквадзе Т.Ф., Мусхелишвили К.Г.

В статье представлена процедура поиска компромиссных решений при выборе решения по многим критериям эффективности для определенного класса задач.

При наличии многих критериев эффективности, в общем случае несовместимых, идеально хорошего решения не существует. Поиск же допустимого компромиссного решения связан с выявлением предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), в интересах которого осуществляется выбор решения. Выявление предпочтений ЛПР возможно путем проведения соответствующим образом организованного эвристического эксперимента (опроса). При этом эвристический эксперимент лучше всего проводить в форме диалога ЛПР с ЭВМ, переложив на последнюю всю работу по обработке ответов ЛПР при включении их в процедуру принятия решений по многим критериям эффективности / I,2 /.

Мы разработали и реализовали на ЭВМ одну такую диалоговую процедуру для определенного класса задач.

Хотя по форме аналитического представления задачи эти несложны, тем не менее они широко распространены в народном хозяйстве, экономике, АСУ и других областях практики.

I. Принятие решений по многим критериям эффективности (основные понятия и обозначения) /2 - 5/

Множество альтернатив, из которых делается выбор, будем обозначать через $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$. В общем случае оно

может быть счетным или континуальным. В качестве альтернатив могут выступать решения, планы, проекты, типы поведения. Мы будем называть их решениями.

Критерием эффективности принято называть числовую функцию $K(x_i)$, определенную на X.

Критерий эффективности порождает некоторое отношение порядка на X: если из $K(x_i) > K(x_s)$ следует, что x_i предпочтительнее x_s, т.е. $x_i \succ x_s$, то $K(x)$ является критерием типа "выигрыш"; если же из $K(x_i) > K(x_s)$ следует $x_s \succ x_i$, то $K(x)$ является критерием типа "затраты".

Эквивалентность двух решений $x_i \sim x_s$ выполняется тогда и только тогда, когда $K(x_i) = K(x_s)$.

Если критерий эффективности - вектор, то есть $K(x_i) = \{K_1(x_i), K_2(x_i), \dots, K_m(x_i)\}$, то говорят о многокритериальной (векторной) оценке решений. Компоненты векторного критерия эффективности называют частными критериями эффективности. Не нарушая общности, будем считать все частные критерии эффективности критериями типа "выигрыш". Тогда задача векторной оптимизации формулируется в виде системы m уравнений:

$$X_j^* = \{x_i : \max_{x_i \in X} K_j(x_i)\}, \quad j = \overline{1,m}. \qquad (1)$$

Решение этой системы X^* представляет пересечение решений отдельных уравнений

$$X^* = X_1^* \cap X_2^* \cap \dots \cap X_m^*$$

и иногда обозначается в виде

$$X^* = \{x_i : \max_{x_i \in X} K_j(x_i);\ j = \overline{1,m}\}.$$

В случае, когда $X^* \neq \varnothing$, частные критерии эффективности непротиворечивы и система (1) имеет решение. Более интересен, однако, второй случай $X^* = \varnothing$, когда частные критерии эффективности противоречивы и система (1) не имеет решения.

В таком случае, как уже отмечалось выше, идеального решения не существует. В подобной противоречивой ситуации, часто встречающейся в практике, люди обычно принимают компромиссное решение. Прежде чем изложить некоторые принципы выбора компромиссных решений в многокритериальных задачах, определим, что мы будем понимать под эффективным решением.

Говорят, что решение x_i строго доминирует над решением x_s, если одновременно выполняются m условий

$$K_j(x_i) \geqslant K_j(x_s), \quad j = \overline{1,m} \qquad (2)$$

и хотя бы для одного j имеет место строгое неравенство. Этот факт записывается следующим образом: $x_i \overset{K}{\succ} x_s$. Бинарное отношение $\overset{K}{\succ}$ является частичным (неполным) отношением порядка на X.

Решение $x_i \in X$ называют эффективным, если в X нет решения, строго доминирующего над x_i в смысле (2). Подмножество $X_n \subseteq X$ всех эффективных решений называют множеством Парето. Правил выбора компромиссных решений можно предложить сколько угодно. Однако не все они будут равноценны. Правило выбора компромиссных решений называется эффективным, если каждый раз решение, выбранное на его основе, принадлежит множеству Парето. Ясно, что имеет смысл применять только эффективные компромиссные решения. Рассмотрим некоторые из таких правил.

Наиболее распространен метод скаляризации векторного критерия эффективности. Вводится обобщенный критерий эффективности (скалярная функция):

$$\Phi(x_i) = \Phi[K_1(x_i), K_2(x_i), \dots, K_m(x_i)], \qquad (3)$$

причем решение определяется как подмножество

$$X^* : \max_{x_i \in X} \Phi(x_i).$$

Очевидно, что каждый обобщенный критерий эффективности соответствует некоторому правилу выбора компромиссного решения. Например:

а) Линейный обобщенный критерий эффективности

$$L(x_i) = \Phi(x_i) = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j K_j(x_i), \quad \lambda_j > 0, \; j = \overline{1,m}$$

всегда эффективен.

б) Критерий "эффективность/затраты"

$$\Phi(x_i) = \frac{K_э(x_i)}{K_з(x_i)},$$

где $K_э(x_i)$ - выигрыш, $K_з(x_i)$ - затраты, всегда эффективен.

в) Максимальный критерий Вальда

$$\Phi(x_i) = \min_{j=\overline{1,m}} K_j(x_i).$$

г) Критерий Саска

$$\Phi(x_i) = \min_{j=\overline{1,m}} \frac{K_j(x_i)}{K_j^*}, \quad \text{где } K_j^* = \max_{x_i \in X} K_j(x_i).$$

Мы привели лишь основные понятия и обозначения, которые понадобятся в дальнейшем.

2. Диалоговая процедура поиска компромиссного решения ЛПР при наличии двух критериев эффективности

Известен метод экономической оценки проектируемых систем по привлекаемым средствам c_1 (затратам) и израсходованным средствам c_2 (потерям).

При этом наилучшим считается вариант системы, который, выполняя свое целевое назначение, минимизирует как c_1, так и c_2. Привлекаемые и израсходованные средства - это противоречивые критерии эффективности в том смысле, что уменьшение c_1 влечет увеличение c_2 и наоборот. Поэтому возникает необходимость в нахождении и обосновании компромиссного решения.

Итак, имеем два критерия эффективности:

$$K_1(c_1) = c_1 \quad \text{и} \quad K_2(c_1) = f(c_1) = c_2. \tag{4}$$

Считаем, что функция f известна и представляет собой некоторую убывающую функцию от c_1. Множеством стратегий в этом случае служит сегмент $[0, c_1^{max}]$, где c_1^{max} - максимальное количество средств, имеющихся в распоряжении ЛПР.

Таким образом, грубо говоря, необходимо минимизировать два связанных друг с другом критерия:

$$\begin{cases} \min\limits_{c_1 \in [0, c_1^{max}]} K_1(c_1), \\ \min\limits_{c_1 \in [0, c_1^{max}]} K_2(c_1). \end{cases} \tag{5}$$

Разумеется, невозможно достичь цели в условиях сколь угодно малых затрат. Поэтому естественно зафиксировать c_1^{min}, представляющее собой минимальные затраты, посредством которых еще можно достичь цели. Соответственно $c_2^{max} = K_2(c_1^{min})$ есть максимальные потери, которые могут иметь место при достижении цели.

Введение c_1^{min} сужает множество допустимых стратегий до $[c_1^{min}, c_1^{max}]$.

В задачах типа (5) часто появляется ограничение, заключающееся в том, что потери, соответствующие оптимальным затратам, не должны превышать определенной величины, выбранной по некоторым соображениям:

$$K_2(c) < c_2^* \qquad (c_2^* \leq c_2^{min}). \tag{6}$$

Если $K_2(c_1^*) = c_2^*$, то множество допустимых стратегий

окончательно сужается до $[c_1^*, c_1^{max}]$.

С учетом сказанного, задача (5) сводится к виду:

$$\begin{cases} \min\limits_{c_1 \in [c_1^*, c_1^{max}]} K_1(c_1), \\ \min\limits_{c_1 \in [c_1^*, c_1^{max}]} K_2(c_1). \end{cases} \qquad (7)$$

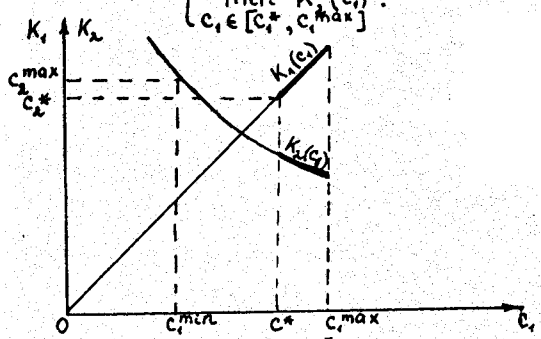


Рис. I

Из рис.I ясно, что задача (7) противоречива. Этот факт типичен для задач векторной оптимизации. Для задачи все множество $[c_1^*, c_1^{max}]$ представляет собой множество Парето: $C_n = [c_1^*, c_1^{max}]$.

В такой ситуации выбор оптимальной стратегии носит более или менее субъективный характер и обычно основывается на экспертном опросе. Это не означает, что существует стандартная процедура, на основании которой в любой задаче можно найти оптимальную стратегию. Каждая задача требует конкретной формы процедуры экспертного опроса, обработки экспертных оценок и т.д.

Для начала все рассуждения будем вести относительно одного эксперта.

Предположение I. Для любой пары $c_1', c_1'' \in [c_1^*, c_1^{max}]$ эксперт может высказать одно из утверждений:

$$\begin{aligned} &\text{либо } (K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\succ} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')), \\ &\text{либо } (K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\prec} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')), \\ &\text{либо } (K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\sim} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')). \end{aligned} \qquad (8)$$

Символы $\overset{э}{\succ}$, $\overset{э}{\prec}$ и $\overset{э}{\sim}$ обозначают соответственно предпочтения (лучше, хуже) и эквивалентность стратегий по мнению эксперта.

Определение. Функцию φ , определенную на $[c_1^*, c_1^{max}]$, назовем функцией предпочтений эксперта, если для любых $c_1', c_1'' \in [c_1^*, c_1^{max}]$

$$\begin{aligned} &(K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\succ} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')) \Longleftrightarrow \varphi(c_1') > \varphi(c_1''), \\ &(K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\prec} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')) \Longleftrightarrow \varphi(c_1') < \varphi(c_1''), \\ &(K_1(c_1'), K_2(c_1')) \overset{э}{\sim} (K_1(c_1''), K_2(c_1'')) \Longleftrightarrow \varphi(c_1') = \varphi(c_1''). \end{aligned} \qquad (9)$$

Предположение 2. Функция предпочтений эксперта представляет собой унимодальную функцию $P(c_1)$ на сегменте $[c_1^*, c_1^{max}]$.

Таким образом, для задачи (7) оптимальной надо считать стратегию $c \in [c_1^*, c_1^{max}]$, удовлетворяющую условию

$$P(c) > P(c_1) \ , \ \forall c_1 \in [c_1^*, c_1^{max}], \ c_1 \neq c. \qquad (10)$$

Заметим, что функция $P(c)$ единственна с точностью до монотонного преобразования.

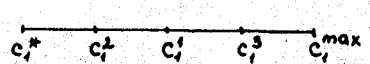
Для удобства в будущем вместо громоздкой записи (8) будем употреблять соответственно запись:

$$c_1' \overset{э}{\succ} c_1'' \ ; \quad c_1' \overset{э}{\prec} c_1'' \ ; \quad c_1' \overset{э}{\sim} c_1''. \qquad (11)$$

Теперь приступим к процедуре нахождения оптимальной стратегии согласно (10).

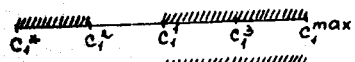
Предварительно отметим, что на основании этой процедуры осуществляется нахождение не оптимальной стратегии, а сегмента, которому она принадлежит. Кроме того, границы этого сегмента можно сколь угодно сблизить за счет увеличения числа опросов эксперта.

Имеем рабочий сегмент:

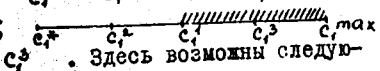


I этап. Возьмем точки $c_1^1 = \frac{c_1^* + c_1^{max}}{2}$, $c_1^2 = \frac{c_1^* + c_1^1}{2}$, $c_1^3 = \frac{c_1^1 + c_1^{max}}{2}$. Осуществляем сравнение c_1^1 и c_1^2; возможны следующие случаи:

1) $c_1^1 \overset{э}{\sim} c_1^2$, тогда $C_n^1 = [c_1^2, c_1^1]$;

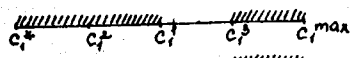


2) $c_1^2 \overset{э}{\succ} c_1^1$, тогда $C_n^1 = [c_1^*, c_1^1]$;

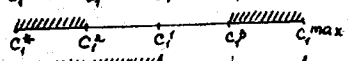


3) $c_1^2 \overset{э}{\prec} c_1^1$. Сравниваем c_1^1 и c_1^3. Здесь возможны следующие подслучаи:

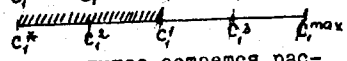
а) $c_1^1 \overset{э}{\sim} c_1^3$, тогда $C_n^1 = [c_1^1, c_1^3]$;



б) $c_1^1 \overset{э}{\succ} c_1^3$, тогда $C_n^1 = [c_1^2, c_1^3]$;



в) $c_1^1 \prec c_1^3$, тогда $C_n^1 = [c_1^1, c_1^{max}]$;



В результате первого этапа в худшем случае остается рассмотреть полсегмента. На следующем этапе надо процедуру повторить. На каждый этап приходится максимум два сравнения. Исходя из этого, на основании M опросов можно осуществить минимум $K = \left[\frac{M}{2}\right]$ этапов, в результате которых первоначальное множество Парето C_n сузится следующим образом:

$$|C_n^K| = \frac{1}{2^K} |C_n|. \qquad (12)$$

Если, наоборот, с самого начала требуется, чтобы оптимальная стратегия находилась в сегменте $|C|$, то число опросов, обязательное для достижения такой точности, можно определить из условия

$$s = \left[\log_2 \frac{|C_n|}{|C|}\right] + 1. \qquad (13)$$

Хотя в данной статье не преследовалась цель создания новой процедуры поиска максимума одномерной унимодальной функции, специфика процесса опроса экспертов и некоторые дополнительные практические требования позволили нам это сделать. Предложенная процедура отличается от известных последовательных процедур Фибоначчи, дихотомии и "золотого сечения" / 6 / и

в то же время, согласно (12), достаточно эффективна: на каждом этапе отрезается не менее половины сегмента. Специфика предложенной процедуры заключается в следующем:

1. Это последовательная процедура поиска максимума одномерной унимодальной функции.

2. Число этапов не задается с самого начала, как в методе Фибоначчи, и определяется лишь требуемой точностью решения.

3. В качестве основы для одного этапа взят, в отличие от известных методов, алгоритм пассивного поиска для трех экспериментов, т.е. деление рассматриваемого сегмента на четыре части тремя точками $c_1^2 < c_1^1 < c_1^3$.

4. Эксперимент заключается не в вычислении значений функции в точках c_1^2, c_1^1, c_1^3, а в выявлении предпочтений эксперта для этих точек путем опроса. При этом эксперту предъявляются пары (c_1^2, c_2^2), (c_1^1, c_2^1), (c_1^3, c_1^3), чтобы он при своих ответах учел изменения по обоим критериям эффективности.

5. Поскольку эксперт лучше (точнее) оценивает далеко отстоящие друг от друга точки, то оптимальным делением рассматриваемого сегмента будет деление его на четыре равных отрезка. Этот принцип тоже заложен в предложенную процедуру. Во всех известных последовательных методах / 6 / точки берут как можно ближе друг к другу.

6. На каждом этапе из рассмотрения выключается не менее половины сегмента (12), а в некоторых случаях и 3/4 сегмента.

7. При реализации данной процедуры на ЭВМ экономнее расходуется машинное время и эксперт меньше простаивает в ожидании вопросов от ЭВМ.

8. Ответ эксперта считается безошибочным, поэтому в процедуре нет алгоритма коррекции путем контрольных вопросов для

случая, когда эксперт ошибается.

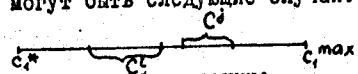
Теперь рассмотрим процедуру, когда в ней принимает участие группа из n экспертов.

Допустим, после m этапов, согласно приведенной процедуре, для каждого эксперта за оптимальные сегменты приняты $C^1, C^2, \ldots, C^n$, $C^i \subset [c_1^*, c_1^{max}]$, $i = \overline{1,n}$ (некоторые сегменты могут совпадать). Обозначим множество индексов

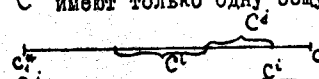
$$J = \{1, 2, \ldots, n\}.$$

Для любых $i, j \in J$ могут быть следующие случаи:

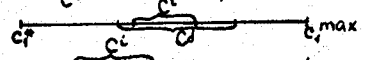
1) $C^i \cap C^j = \varnothing$;



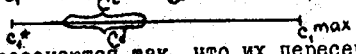
2) C^i и C^j имеют только одну общую точку:



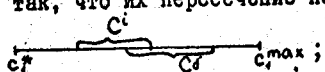
3) $C^i \subset C^j$;



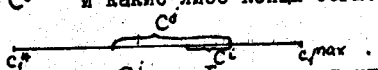
4) $C^i = C^j$;



5) C^i и C^j пересекаются так, что их пересечение не совпадает ни с одним из них:



6) $C^i \subset C^j$ и какие-либо концы сегментов совпадают:



Каждому сегменту C^i, $i \in J$ можно приписать определенное число k_i, соответствующее числу экспертов, принявших этот сегмент оптимальным. А именно, если сегмент C^i совпадает (или входит) с $n_i - 1$ сегментами из остальных C^j, $j \in J$, $j \neq i$, то $k_i = \frac{n_i}{n}$.

Очевидно, если сегмент C^i не совпадает ни с каким сегментом (или не входит ни в какой другой сегмент), то $k_i = \frac{1}{n}$.

В первом, втором и пятом случаях $k_i = k_j = \frac{1}{n}$, в третьем случае $k_i = \frac{2}{n}$, а $k_j = \frac{1}{n}$; в четвертом случае $k_i = k_j = \frac{1}{n}$; в шестом случае $k_i = \frac{2}{n}$, а $k_j = \frac{1}{n}$.

Расположив сегменты $C^1, C^2, \ldots, C^n$ на сегменте $[c_1^*, c_1^{max}]$

и отметив их концы $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_N$ (нумеруем слева направо), получим $N+1$ сегмент:

$$[c_1^*, \alpha_1], [\alpha_1, \alpha_2], \ldots, [\alpha_{N-1}, \alpha_N], [\alpha_N, c_1^{max}].$$

Обозначим через $\sigma_i = [\alpha_{i-1}, \alpha_i]$, $\sigma_1 = [c_1^*, \alpha_1]$, $\sigma_{N+1} = [\alpha_N, c_1^{max}]$. Теперь любому сегменту σ_j, $j = \overline{1, N+1}$ припишем числа q_j следующим образом: если $\sigma_i = C^{i_1} \cap C^{i_2} \cap \ldots \cap C^{i_s}$, тогда $q_j = k_{i_1} + k_{i_2} + \ldots + k_{i_s}$.

Окончательно в качестве оптимального агрегированного сегмента выбирается тот сегмент σ^*, у которого соответствующее q^* максимально. (Если таких сегментов несколько, то необходима дополнительная информация для осуществления выбора оптимального среди них).

Отметим, что оптимальность сегментов σ_j можно описать в терминах нечетких множеств. В частности, если рассмотреть следующее нечеткое множество:

$$\mathfrak{A} = \{\sigma_j, \mu_{\mathfrak{A}}(\sigma^j)\}, \; j = \overline{1, N+1}, \quad \text{где} \quad \mu_{\mathfrak{A}}(\sigma^j) = q_j,$$

то $\mu_{\mathfrak{A}}(\sigma^j)$ означает "степень" оптимальности сегмента σ_j.

Приведенная процедура принятия компромиссного решения реализована на машине GE-130 на языке FORTRAN-4. Шифр программы "GIGANT".

Литература

1. О.И.Ларичев. Автоматика и телемеханика, № 12, 1971.
2. В.Л.Волкович. Труды семинара "Сложные системы управления", вып.I, "Наукова думка", Киев, 1968.
3. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сборник переводов, "Мир", М., 1976.
4. В.В.Подиновский. Методы многокритериальной оптимизации. ВА им. Дзержинского, М., 1971.
5. Б.Г.Миркин. Проблема группового выбора. "Наука", М., 1974.
6. Д.Дж.Уайлд. Методы поиска экстремума. "Наука", М., 1967.

ШКАЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО МНОГИМ КРИТЕРИЯМ

Жуковин В.Е., Буритейн Ф.В., Биниашвили Н.М.

Критерий эффективности является одним из наиболее важных элементов в теории принятия решений, в том числе и в случае решений по многим критериям. Традиционно в качестве критерия эффективности берется некоторая числовая функция, определенная на множестве допустимых решений. Хотя во всех случаях подразумевается, что критерий эффективности измеряет некоторое качество решений, упускают из виду такое необходимое условие любого измерения, как шкала измерений. Необходимость учета типа шкалы измерений особенно четко проявляется в случае формирования качественных критериев эффективности в количественном представлении /I, 2/, часто встречающемся при выборе и оценке наилучшего решения в экономике, социологии, системных исследованиях разного уровня. В последние годы теория измерений интенсивно развивается как в СССР, так и за рубежом. Поэтому появилась возможность рассмотреть критерий эффективности с позиций этой теории.

В данной статье делается попытка объединить, синтезировать два понятия: критерий эффективности и соответствующую ему шкалу измерений. В качестве иллюстрации такого объединения представле-

на многокритериальная лексикографическая шкала.

I. Критерии эффективности и шкалы измерений

Уточним понятие критерия эффективности в связи со шкалами. Вопросы, связанные со шкалами измерений, подробно рассмотрены в /3 - 6/. Приведем лишь данные, которые понадобятся для дальнейших рассуждений.

Пусть $X \times X \times \ldots \times X = X^{\ell}$ - множество всех упорядоченных ℓ -систем $(x_1, x_2, \ldots, x_\ell)$ из элементов множества X. Тогда любое ℓ -местное отношение на X, скажем P, есть подмножество X^{ℓ} $(P \subseteq X^{\ell})$. Пусть на X определен некоторый набор n_k -местных отношений $P_k \subseteq X^{n_k}$, где n_k $(k = 1, 2, \ldots, s)$ - натуральные числа. Тогда $(X, P_1, P_2, \ldots, P_s)$ является эмпирической системой с отношениями (ЭСО). Вектор $(n_1, n_2, \ldots, n_s)$ - сигнатура системы.

Эмпирической системе с отношениями сопоставляется числовая система с отношениями (ЧСО) той же сигнатуры $(C, Q_1, Q_2, \ldots Q_s)$, где $C \subseteq R_1$, $Q_k \subseteq C^{n_k}$. Рассмотрим отображение X в C: $(\varphi : X \to C)$

<u>Определение I</u>. Если для всех k имеет место

$$(x_1, x_2, \ldots, x_\ell) \in P_k \longleftrightarrow [\varphi(x_1), \varphi(x_2), \ldots, \varphi(x_\ell)] \in Q_k ,$$

то отображение φ называют измерением.

<u>Определение 2</u>. Совокупность ЭСО, ЧСО той же сигнатуры и соответствующего им измерения представляет собой шкалу измерений.

Принимая за основу приведенное понятие шкалы измерений, подчеркнем существенное отличие от нее критерия эффективности: именно критерий эффективности формирует ЭСО на X. Таким образом, если в традиционной теории измерений за основу берется ЭСО, то в случае задания критерия эффективности за основу берется ЧСО. Это приводит к необходимости введения нового понятия - критерия эффективности в широком смысле.

Определение 3. Под критерием эффективности в широком смысле будем понимать пару

$$S_K = \langle \mathcal{U}, \Phi \rangle_K , \qquad (I)$$

где $\mathcal{U}$ - множество возможных значений критерия эффективности K $(\mathcal{U} \subset R_1)$, а Φ - класс разрешенных преобразований над элементами из $\mathcal{U}$.

В соответствии с теорией измерений класс разрешенных преобразований Φ определяет тип шкалы критерия эффективности K. Поэтому одним из признаков классификации критериев эффективности служит именно тип шкалы K.

Пусть в результате некоторого преобразования из Φ мы получили новое множество возможных значений $\mathcal{U}'$ критерия эффективности K.

Тогда классификация критериев эффективности по типу шкалы выглядит следующим образом (приведены лишь наиболее распространенные типы шкал):

1. Шкала наименований:

Φ состоит из всех одно-однозначных преобразований.

2. Шкала порядковая:

Φ состоит из всех монотонных преобразований.

3. Шкала абсолютная:

Φ состоит из тождественного преобразования $u' = u$ где $u' \in \mathcal{U}'$, $u \in \mathcal{U}$.

4. Шкала разностей:

Φ состоит из преобразований вида $u' = u + \beta$, где $u' \in \mathcal{U}'$, $u \in \mathcal{U}$, β - вещественное число.

5. Шкала отношений:

Φ состоит из преобразований вида $u' = \alpha u$, где $u' \in \mathcal{U}'$, $u \in \mathcal{U}$, $\alpha > 0$.

6. Шкала интервалов:

Φ состоит из преобразований вида $u' = \alpha u + \beta$, где $u' \in \mathcal{U}'$, $u \in \mathcal{U}$, $\alpha > 0$, β - вещественное число.

Другим признаком классификации критериев эффективности является множество $\mathcal{U}$, которое мы будем называть диапазоном шкалы критерия эффективности K.

а) Шкала дискретна, если $\mathcal{U}$ дискретно.

Шкала непрерывна, если $\mathcal{U}$ непрерывно.

Дискретные $\mathcal{U}$ будем записывать в виде $\mathcal{U} = \{u_0, u_1, u_2, \ldots, u_r\}$, где $u_0 < u_1 < u_2 < \ldots < u_r$ и r конечно или бесконечно.

б) Шкала конечна, если $\mathcal{U}$ конечно.

Шкала бесконечна, если $\mathcal{U}$ бесконечно.

Конечные шкалы всегда дискретны.

в) Дискретная шкала однородна, если разность $u_\nu - u_{\nu-1} = \Delta$ для $\nu = \overline{1, r}$ постоянна.

В случае однородных шкал Δ можно принять за единицу измерения шкалы, при этом, если $u_c = 0$, получим простую шкалу вида:

$$u_\nu = \nu \; ; \quad \nu = \overline{0, r}.$$

Конкретная шкала измерений может принадлежать любому из типов I ÷ 6 и одновременно любому из видов а, б, или в.

Например, свойство однородности определяется и для порядковых шкал.

Рассмотрим произвольное m -местное отношение $R \subset U^m$ Для конкретной m -местной системы ($u_1, u_2, \ldots, u_m$) это отношение $R(u_1, u_2, \ldots, u_m)$ называют утверждением или формулой. Это утверждение может быть истинным или ложным.

<u>Определение 4</u>. Если истинность утверждения $R(u_1, u_2, \ldots, u_m)$ не меняется при применении разрешенных преобразований над элементами из $\mathcal{U}$, то это утверждение называют осмысленным или инвариантным для шкалы данного типа.

<u>Определение 5</u>. Если инвариантным является любое утверждение, получаемое подстановкой в отношение R конкретных систем $(u_1, u_2, \ldots, u_m)$, то отношение R называют осмысленным или инвариантным для шкалы данного типа.

Например, свойство однородности шкалы не инвариантно для шкал наименований и порядковых шкал, но инвариантно для шкал типов 3 ÷ 6. Проблема инвариантности утверждений (формул) и отношений имеет два аспекта.

Во-первых, любой результат, полученный в теории принятия решений, надо исследовать на инвариантность, то есть установить, для каких шкал он справедлив, а для каких - нет.

Во-вторых, задавая с самого начала некоторые отношения на $\mathcal{U}$, инвариантность которых мы хотели бы сохранить в процессе работы, мы тем самым задаем тип шкалы критерия эффективности. Таким образом, задание Φ эквивалентно заданию инвариантных ЧСО на $\mathcal{U}$.

В этой статье мы не будем заниматься построением критериев эффективности того или иного типа. Отметим только, что этот аспект проблемы инвариантности имеет непосредственное отношение к построению (формированию) критериев эффективности, когда они заданы в качественной форме (задача шкалирования качественных критериев эффективности в теории принятия решений).

Пусть задана некоторая процедура (способ) приписывания решению $x_i \in X$ числа c_j из некоторого множества чисел $C \subset R_1$ $(c_j \in C)$. Заметим, что выбор C не влияет на процедуру, не изменяет ее. В качестве C мы могли бы взять $\mathcal{U}$ или $\mathcal{U}'$, полученное путем применения разрешенного преобразования $f \in \Phi$ к элементам из $\mathcal{U}$. Тогда решению x_i было бы приписано число $u_i \in \mathcal{U}$ или $u_i' \in \mathcal{U}'$ соответственно.

<u>Определение 6</u>. Процедуру приписывания решениям из X некоторых чисел из $\mathcal{U}$ будем называть оценкой решений на основе критерия эффективности в широком смысле $S_K = \langle \mathcal{U}, \Phi \rangle_K$, если для нее выполняется условие: $u_i' = f(u_i)$ для всех $x_i \in X$ и для всех $f \in \Phi$.

Таким образом, процедура оценки решений (альтернатив) на основе S_K должна сохранять тип шкалы S_K.

Оценка может быть реализована различными средствами,

например:

- аналитическим выражением,
- некоторой общепринятой процедурой расчета или алгоритмом,
- физическим прибором,
- специалистом (экспертом), оценивающим решение $x_i \in X$

на основе качественно сформулированного критерия эффективности и своих знаний и опыта.

Оценку может давать и группа специалистов (экспертов).

Заметим, что каждая из вышеприведенных процедур оценки решений (ПОР) может быть осуществлена в двух вариантах: четком, когда решению приписывается единственное число из $\mathcal{U}$, и нечетком (размытом), когда решению приписывается некоторый набор чисел из $\mathcal{U}$ (нечеткое множество), что вызвано неопределенностями разного типа, часто имеющими место при принятии решений из-за неполноты и недостоверности информации.

Таким образом, при исследовании критериев эффективности в теории принятия решений обязательно возникнут следующие задачи:

I) Формирование критериев эффективности, в широком смысле, как некоторых эталонов для измерения качества и изучение их свойств.

2) Формирование соответствующих процедур оценки решений на основе конкретных эталонов и изучение их свойств.

2. Многокритериальная лексикографическая шкала

Рассмотрим лексикографическую схему в многокритериальных задачах принятия решений. Наиболее полно эти вопросы освещены в работе /7/.

Пусть задан векторный критерий эффективности $K = \{K_j;\ j = \overline{1,m}\}$. Каждому частному критерию эффективности K_j соответствует диапазон шкалы $\mathcal{U}_j$. Пусть шкалы частных критериев эффективности конечны (следовательно, и дискретны) и однородны. Пусть частные критерии эффективности упорядочены по важности лицом, принимающим решение (ЛПР), следующим образом:

$$K_m \succ K_{m-1} \succ \ldots \succ K_2 \succ K_1.$$

Введем следующее множество:

$$\mathcal{U} = \mathcal{U}_m \times \mathcal{U}_{m-1} \times \ldots \times \mathcal{U}_1,$$

элементами которого являются упорядоченные наборы:

$u = (u_{m,i_m}, u_{(m-1),i_{m-1}}, \ldots, u_{2,i_2}, u_{1,i_1})$, где $u_{\nu,i_\nu} \in \mathcal{U}_\nu$, $(\nu = \overline{1,m})$.

<u>Определение 7</u>. Пусть $u, u' \in \mathcal{U}$. Говорят, что u лексикографически предпочтительнее u' (и записывают $u \overset{L}{\succ} u'$), если выполняется одно из следующих условий:

$$\begin{aligned}
&1.\ u_{m,i_m} > u'_{m,i_m}, \text{ или} \\
&2.\ u_{m,i_m} = u'_{m,i_m} \text{ и } u_{m-1,i_{m-1}} > u'_{m-1,i_{m-1}}, \text{ или} \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&m.\ u_{\nu,i_\nu} = u'_{\nu,i_\nu} \text{ для } \nu = \overline{2,m} \text{ и } u_{1,i_1} > u'_{1,i_1}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Если имеет место $u_{\nu,i_\nu} = u'_{\nu,i_\nu}$ для всех $\nu = \overline{1,m}$, то говорят о лексикографической эквивалентности элементов u и u' $(u \overset{L}{=} u')$.

Таким образом, мы имеем систему с отношениями $[\mathcal{U}, \overset{L}{=}]$, которая по смыслу является эмпирической системой с отношениями. Построим теперь соответствующую ЧСО и установим измерение. Тем самым мы построим многокритериальную лексикографическую шкалу. Рассмотрим отображение:

$$L : \mathcal{U} \to R_1$$

При этом $L(u)$ должна быть функцией, согласованной с лексикографическим отношением порядка на $\mathcal{U}$, /8/. Искать эту функцию будем в виде линейного обобщенного критерия:

$$L(u) = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j^{\ell_x} u_{j,i_j} . \qquad (3)$$

Существует теорема /7/, доказывающая, что для дискретных шкал частных критериев эффективности такое представление возможно. Поскольку неизвестными величинами в (3) являются лексикографические коэффициенты $\lambda_j^{\ell_x}$, то надо задать формулы для их подсчета. Такие формулы опубликованы в различных работах, в том числе в /7/. В этом разделе мы изложим свою процедуру расчета коэффициентов $\lambda_j^{\ell_x}$. Для этого минимальную положительную разность значений j-го частного критерия эффективности обозначим через A_j, а максимальную разность значений этого же критерия эффективности через B_j. Без ограничения общности для принятых условий можно рассматривать простые шкалы. Тогда имеем $A_j = 1$ для $j = \overline{1,m}$, а $B_j = \ell_j - 1$, где ℓ_j -

число возможных значений j-того критерия эффективности (мощность множества $\mathcal{U}_j$). При выводе коэффициентов $\lambda_j^{\ell_x}$ необходимо соблюдать следующее условие:

$$\lambda_\nu^{\ell_x} > \sum_{j=1}^{\nu-1} \lambda_j^{\ell_x} (\ell_j - 1), \quad \nu = \overline{2,m} . \qquad (4)$$

Оно вытекает из самой структуры лексикографической схемы сравнения альтернатив из $\mathcal{U}$. При этом все коэффициенты, начиная со второго, можно выразить через $\lambda_1^{\ell_x}$. Покажем, как это делается:

$$\lambda_2^{\ell_x} > \lambda_1^{\ell_x} (\ell_1 - 1)$$

Чтобы сделать из этого неравенства равенство, достаточно к правой части добавить положительное число. Таким числом может быть $\lambda_1^{\ell_x}$. Забегая вперед, скажем, что впоследствии $\lambda_1^{\ell_x} = 1$, поскольку это единственный независимый параметр при расчете $\lambda_j^{\ell_x}$ и выбор его зависит от нас. Тогда

$$\lambda_2^{\ell_x} = \lambda_1^{\ell_x} \cdot \ell_1$$

То же самое можно проделать для всех коэффициентов, используя неравенство (4). Получим:

$$\lambda_\nu^{\ell_x} = \lambda_1^{\ell_x} \cdot \prod_{j=1}^{\nu-1} \ell_j ,$$

или, если $\lambda_1^{\ell_x} = 1$,

$$\lambda_\nu^{\ell_x} = \prod_{j=1}^{\nu-1} \ell_j \qquad (5)$$

Если шкалы частных критериев эффективности простые и диапазоны их совпадают, то есть $\ell_j = \ell$ для $j = \overline{1,m}$, то имеем:

$$\lambda_\nu^{\ell_x} = \ell^{\nu-1}$$

и соответственно:

$$L(u) = \sum_{j=1}^{m} \left\{ \prod_{s=1}^{j-1} \ell_s \right\} u_{j,i_j} ,$$
$$L(u) = \sum_{j=1}^{m} \ell^{j-1} u_{j,i_j} . \qquad (6)$$

В формулу (5), а следовательно, и во все другие, полученные на ее основе, можно естественным путем включить и коэффициент $\lambda_1^{\ell_{\alpha}}$, если переписать ее следующим образом:

$$\lambda_\nu^{\ell_\alpha} = \prod_{j=0}^{\nu-1} \ell_j , \quad \ell_0 = 1 . \qquad (7)$$

Содержательно это означает добавление к векторному критерию эффективности еще одного частного критерия эффективности K_0, который имеет лишь одно значение-нуль. Мощность $\mathcal{U}_0$ при этом равна единице ($\ell_0 = 1$). Добавление K_0 не меняет структуры лексикографической схемы. Соответственно перепишутся другие формулы.

Хорошей иллюстрацией изложенного является десятичная система счисления.

Пусть множество возможных значений $L(u)$, когда $u \in \mathcal{U}$, будет $\mathcal{X} \subset R_1$. Тогда мы имеем числовую систему с отношениями $[\mathcal{X}, \geq]$ и измерение $L: \mathcal{U} \to \mathcal{X}$. Таким образом, мы построили многокритериальную лексикографическую шкалу:

$$\mathcal{W}_L = \{ [\mathcal{U}, \overset{L}{\simeq}], L, [\mathcal{X}, \geq] \} . \qquad (8)$$

Теперь надо исследовать тип шкалы (проблема единственности в теории измерений). Вообще говоря, формула (8) определяет класс многокритериальных лексикографических шкал. При этом переход от

одной шкалы к другой внутри класса возможен только монотонным преобразованием, то есть $\mathcal{W}_L$ является порядковой шкалой. Чтобы убедиться в этом, достаточно вспомнить следующее свойство лексикографической схемы:

пусть λ $(\nu = \overline{1,m})$ – набор чисел, для которого выполняется $\lambda_\nu > \lambda_1$, $\nu = \overline{1,m}$. Тогда

$$L(u, \lambda_\nu) = \sum_{\nu=1}^{m} \lambda_\nu u_{\nu, i_\nu}$$

тоже является функцией, согласованной с лексикографическим порядком на $\mathcal{U}$. Переход же от одного набора лексикографических коэффициентов к другому связан с монотонным преобразованием $L(u)$ на классе многокритериальных лексикографических шкал.

Рассмотрим еще один аспект лексикографической схемы принятия решений. После того как построена $\mathcal{W}_L$, можно задать лексикографический векторный критерий эффективности в широком смысле:

$$S_L = [\mathcal{X}, \Phi^L_{\text{лекс}}] . \qquad (9)$$

Это критерий с конечной (дискретной), порядковой шкалой. Процедура оценки выглядит следующим образом. Пусть $x_i \in X$, тогда ему однозначно соответствует $K(x_i)$, а этому значению векторного критерия эффективности однозначно соответствует некоторое $u^{(\nu)} \in \mathcal{U}$, тогда $L(x_i) = L(u^{(\nu)})$.
Эта процедура оценки сохраняет тип шкалы, то есть лексикографическое отношение порядка на X, индуцированное ею, инвариантно относительно класса монотонных преобразований $\Phi^L_{\text{лекс}}$.

ЗАМЕЧАНИЯ

I. Относительно приведения шкалы S_L к однородной ничего нельзя сказать даже в случае однородных шкал для всех частных

критериев эффективности, т.к. $\Phi^{L}_{мон}$ не исчерпывает всего класса монотонных преобразований.

2. В случае неоднородных шкал частных критериев эффективности расчет коэффициентов $\lambda_j^{вх}$ надо производить по формуле:

$$\lambda_j^{вх} = \prod_{s=0}^{j-1} \left(1 + \frac{B_s}{A}\right), \qquad (10)$$

где $A = \min\limits_{1 \le j \le m} A_j$, а $B_0 = 0$.

3. Данная процедура оценки применима и для непрерывных X, важно, чтобы U_j, $j = \overline{1,m}$, были дискретны. Это требование реально, поскольку практически непрерывных шкал нет.

4. Данная процедура оценки не чувствительна к вычеркиванию и добавлению элементов в X.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чавчанидзе В.В., Квицаридзе О.И., Жуковин В.Е., Калоев М.А., Винер А.Я., Лопатинер Г.Л. Сб. "Наука производству", "Мецниереба", 1975.
2. Жуковин В.Е., Калоев М.А. Сообщения АН ГССР, т.79, №1, 1975.
3. Миркин Б.Г. Анализ качественных признаков. "Статистика", М., 1976.
4. Сб. "Психологические измерения". М.,"Мир", 1971.
5. Сб. "Статистическое измерение качественных характеристик". М., "Статистика" 1972.
6. Пфанцагль И. Теория измерений. М., "Мир", 1971.
7. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М., "Советское радио", 1975.
8. Жуковин В.Е., Смуров Н.Н., Киквадзе Т.Ф., Мусхелишвили К.Г. Поиск компромиссных решений на основе эвристического эксперимента с лицом, принимающим решение. (См.наст.сб.,стр.293)

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО МНОГИМ КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА

Жуковин В.Е., Бурштейн Ф.В., Корелов Э.С.

Выбор наилучших в каком-либо смысле решений, планов, проектов, вариантов системы, типов поведения является одной из основных задач в исследовании операций и системном анализе. Сложность исследуемых объектов и процессов привела к тому, что любое решение теперь оценивается по многим, часто несовместимым критериям эффективности /1 – 3/. Другим усложняющим выбор решения моментом являются неопределенности самого различного вида: неопределенность в целях, неопределенность в ограничениях, неопределенность в задании отношений предпочтения. Одним из математических средств описания неопределенности является нечеткое множество, введенное Л.Заде /1,4/. В этой статье представлены два аспекта задачи принятия решений по многим критериям эффективности, включающие нечеткие множества и нечеткие отношения предпочтений.

1. Использование идеи нечеткого множества в многокритериальных задачах принятия решений

Работы по нечетким множествам многочисленны. Подробно эти вопросы представлены в /1,4/, поэтому мы не будем их повторять. Основные понятия и зависимости будут уточняться по мере их использования в тексте.

Пусть задана система с отношениями $[X, \succsim]$. Отношение порядка $\succsim$ полное, транзитивное. Тогда в X можно выделить подмножества X_{max} и X_{min}, при этом $x_i \in X_{max}$, если в X не найдется x_y, для которого $x_y \succ x_i$, и $x_i \in X_{min}$, если в X не найдется x_y, для которого $x_i \succ x_y$. На X

определим функцию принадлежности $\mu(x_i)$ элемента x_i множеству X_{max}.

Функция принадлежности должна обладать следующими свойствами:

1. $0 \le \mu(x_i) \le 1$.
2. $x_i \succ x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) > \mu(x_\nu)$,
   $x_i \sim x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) = \mu(x_\nu)$. (I)
3. $\mu(x_i) = 1$ для $x_i \in X_{max}$,
   $\mu(x_i) = 0$ для $x_i \in X_{min}$.

Тогда X_{max} можно представить как нечеткое (размытое) множество на базовом множестве X :

$$X_{max} = [X, \mu(x_i)]. \qquad (2)$$

Пусть отношение порядка наводится на X частным критерием эффективности $K_j(x_i)$, $j = \overline{1,m}$. Свяжем функцию принадлежности с частными критериями эффективности. Рассмотрим два случая.

I. $K_j(x_i)$ - критерий типа "выигрыш". Имеют место следующие соотношения:

$$K_j(x_i) > K_j(x_\nu) \longrightarrow x_i \succ x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) > \mu(x_\nu),$$
$$K_j(x_i) = K_j(x_\nu) \longrightarrow x_i \sim x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) = \mu(x_\nu),$$

т.е. в этом случае функция принадлежности должна быть согласована с $K_j(x_i)$.

Учитывая (I), зададим $\mu_j(x_i)$ в следующем виде:

$$\mu_j(x_i) = \frac{K_j(x_i) - K_{j,min}}{K_{j,max} - K_{j,min}}, \qquad (3)$$

где $K_{j,max} = \max\limits_{x_i \in X} K_j(x_i)$, $K_{j,min} = \min\limits_{x_i \in X} K_j(x_i)$.

Ясно, что $\mu_j(x_i)$, введенная согласно (3), не является

единственно возможной функцией принадлежности.

II. $K_j(x_i)$ - критерий типа "затраты". Имеют место следующие соотношения:

$$K_j(x_i) < K_j(x_\nu) \longrightarrow x_i \succ x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) > \mu(x_\nu),$$
$$K_j(x_i) = K_j(x_\nu) \longrightarrow x_i \sim x_\nu \longrightarrow \mu(x_i) = \mu(x_\nu).$$

В этом случае функция принадлежности не согласована с $K_j(x_i)$.

Учитывая (I), зададим $\mu_j(x_i)$ в следующем виде:

$$\mu(x_i) = \frac{K_{j,max} - K_j(x_i)}{K_{j,max} - K_{j,min}}. \qquad (4)$$

После сформирования функции принадлежности для каждого частного критерия K_j по (3) или (4) получим набор нечетких (размытых) множеств $[X, \mu_j(x_i)]$, $j = \overline{1,m}$. Тогда нечеткое множество, соответствующее векторному критерию эффективности $K(x_i)$, по-видимому, может быть введено как пересечение нечетких множеств частных критериев эффективности:

$$[X, \mu_K(x_i)] = \bigcap_{j=1}^{m} [X, \mu_j(x_i)]. \qquad (5)$$

При этом имеет место:

$$\mu_K(x_i) = \min_{j=\overline{1,m}} \mu_j(x_i). \qquad (6)$$

Наилучшее решение находится из уравнения:

$$X^* : \max_{x_i \in X} \min_{j=\overline{1,m}} \mu_j(x_i) = \max_{x_i \in X} \mu_K(x_i). \qquad (7)$$

Теорема I. Оптимальное решение $X^* \subset X$, определяемое формулой (7), инвариантно в шкалах абсолютной, отношений, разностей, интервалов /5/.

Доказательство этой теоремы не представляет труда, поэ-

тому мы его не приводим. Оптимальное решение (7) не инвариантно в порядковых шкалах и шкалах наименований.

Рассмотрим частный случай. Пусть все $K_j(x_i)$ будут критериями типа "выигрыш" и $K_{j,min}=0$ для $j=\overline{1,m}$. Тогда имеем:

$$X^*: \max_{x_i \in X} \min_{j=\overline{1,m}} K_j(x_i)/K_{j,max}.$$

Мы получили известный в многокритериальном принятии решений обобщенный критерий эффективности, впервые введенный Саска. Таким образом, основанная на нечетких множествах более общая процедура привела в частном случае к известному результату, получившему новое содержательное толкование.

Рассмотрим еще один пример. Пусть $K(x)=\{K_1(x), K_2(x)\}$, $K_1(x)$ - критерий типа "выигрыш", $K_2(x)$ - критерий типа "затраты". Пусть $X=[0,a]$ и оба частных критерия эффективности монотонно возрастают на X, причем $K_1(0)=K_2(0)=0$, $K_{1,max}=K_1(a)$, $K_{2,max}=K_2(a)$. Это вполне реальный случай, когда приращение эффективности какой-нибудь системы требует дополнительных затрат. Тогда решение X^* найдем из уравнения:

$$X^*: \max_{x \in X} \min_{j=1,2} \left[\frac{K_1(x)}{K_{1,max}}, \frac{K_{2,max}-K_2(x)}{K_{2,max}}\right].$$

Последнее уравнение можно переписать в более удобной для нахождения X^* форме:

$$X^*: \frac{K_1(x)}{K_{1,max}} + \frac{K_2(x)}{K_{2,max}} = 1. \qquad (8)$$

Поскольку частные критерии эффективности могут быть произвольными функциями, то для нахождения решения (8) можно предложить последовательную процедуру, легко реализуемую на ЭВМ, которая при заданной точности найдет решение за минимальное количество шагов для любого аналитического вида $K_1(x_i)$ и $K_2(x_i)$.

Это идея алгоритма Шеннона при поиске фальшивой монеты путем взвешивания. На первом шаге берем $x_1=\frac{a}{2}$ и подставляем в (8). При этом выполнится одно из следующих условий:

$$\begin{aligned} &\text{а)}\ \frac{K_1(x_1)}{K_{1,max}} + \frac{K_2(x_1)}{K_{2,max}} = 1, \text{ или} \\ &\text{б)}\ \frac{K_1(x_1)}{K_{1,max}} + \frac{K_2(x_1)}{K_{2,max}} > 1, \text{ или} \\ &\text{в)}\ \frac{K_1(x_1)}{K_{1,max}} + \frac{K_2(x_1)}{K_{2,max}} < 1. \end{aligned} \qquad (9)$$

Если имеет место а), то x_1 - решение. Если имеет место б), то решение находится в интервале $[0,x_1]$. Если имеет место в), то решение находится в интервале $[x_1,a]$. Полученный интервал снова делим пополам, получаем x_2 и снова проверяем выполнение условий (9). И так далее, причем $\lim_{n\to\infty} x_n = x^*$. Остановка осуществляется интервалом точности, который задается из практических соображений. Эта задача при всей своей простоте очень часто встречается в практике.

2. Решение задачи упорядочения объектов по многим критериям при наличии нечетких отношений предпочтения

Пусть $X=\{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ - некоторое множество объектов, элементы которого надо упорядочить на основе информации, задаваемой векторным критерием эффективности $K=\{K_1,K_2,\dots,K_m\}$. На практике часто встречаются ситуации, когда частные критерии эффективности задаются в качественной форме. Для решения задачи упорядочения прибегают в таких случаях к экспертному опросу. Описываемый ниже способ упорядочения также основан на экспертном опросе, но использует экспертную информацию в наиболее простой форме и минимальном объеме.

Математически задачу упорядочения объектов можно предста-

вить как нахождение вектора $\mu=(\mu_1,\mu_2,\dots,\mu_n)$, где μ_i – вес i – го объекта в заданном упорядочении. Потребуем, чтобы выполнялось условие $\sum_{i=1}^{n}\mu_i=1$. Вектор μ назовем вектором распределения.

Пусть сначала упорядочение ведется по одному качественному критерию. Порядок объектов на множестве X должен быть согласован с заданным на нем отношением предпочтения. Так как критерий качественный, то отношение предпочтения устанавливается с помощью экспертного опроса, т.е. для каждой пары $x_i, x_j \in X$ эксперт указывает степень (субъективную вероятность), с которой выполняются отношения $x_i \succ x_j$. Обозначим эту величину через P_{ij}.

Воспользуемся понятием нечеткого отношения предпочтения /4/, под которым понимается нечеткое подмножество декартового произведения $X \times X$. В качестве функции принадлежности такого бинарного отношения пусть выступает степень предпочтения.

Таким образом, задав для любой пары объектов $x_i, x_j \in X$ соответствующее значение функции принадлежности P_{ij}, мы определим на X некоторое нечеткое отношение предпочтения. Матрицу P, элементами которой являются P_{ij}, будем называть матрицей вероятностей предпочтения (МВП).

Процедуру экспертного опроса можно проводить по следующей схеме. Пусть производится опрос N экспертов. Каждому эксперту предлагается составить МВП $P^{(\ell)}$ ($\ell=\overline{1,N}$ – номер эксперта) по заданному критерию K, определяя её элементы следующим образом:

$$P_{ij}^{(\ell)}=\begin{cases}1, & \text{если } x_i \succ x_j\\ 0, & \text{если } x_i \prec x_j\end{cases}, \quad i,j=\overline{1,n}.$$

Из полученных таким образом матриц типа (0;1) с помощью ЭВМ формируется общая МВП, элементы которой находятся усреднением по экспертам:

$$P_{ij}=\frac{\sum_{\ell=1}^{N}P_{ij}^{(\ell)}}{N}, \quad i,j=\overline{1,n}.$$

Элементы матрицы P удовлетворяют следующим условиям:

$$0\le P_{ij}\le 1, \qquad P_{ij}+P_{ji}=1. \tag{10}$$

Пусть μ^0 – некоторый начальный вектор распределения. Далее будет доказано, что окончательный вектор распределения не зависит от μ^0 и поэтому в качестве μ^0 может быть взят любой, нормированный на единицу вектор, в частности $\mu_j^0=\frac{1}{n}, j=\overline{1,n}$.

На основе полученной матрицы P мы предлагаем следующую итеративную процедуру определения вектора распределения. Зная начальный вектор распределения μ^0, второе приближение к искомому вектору ищем в виде $\mu^1=\mu^0\cdot P$.

Приняв теперь μ^1 за первоначальное распределение, получим следующее приближение: $\mu^2=\mu^1\cdot P=(\mu^0 P)\cdot P=\mu^0\cdot P^2$ и т.д.

Ясно, что на s – том шаге итерации будем иметь

$$\mu^s=\mu^0\cdot P^s. \tag{11}$$

Докажем сходимость этого итеративного процесса.

Определение. МВП P называется регулярной, если для любых i,j $P_{ij}\neq 0$. Для определенного класса регулярных матриц, ненормированных по строке, выполняется следующее обобщение теоремы Кемени-Снелла /6/.

Теорема 2. Если P – регулярная МВП, то

I) степени P^s стремятся ($s\to\infty$) к предельной матрице A,

2) каждая строка матрицы A представляет собой один и тот же предельный вектор $\alpha = (a_1, a_2, \dots, a_n)$,

3) все компоненты предельного вектора α положительны.

Доказательство этой теоремы аналогично доказательству теоремы Кемени-Снелла, и мы его не приводим.

Как следствие этой теоремы, имеет место следующее утверждение. Пусть P - регулярная МВП, $a_j = \lim_{s\to\infty} P_{ij}^{(s)}$, $(i,j=\overline{1,n})$. Тогда найдутся постоянные b и τ (причем $0<\tau<1$), такие, что $P_{ij}^{(s)} = a_j + \ell_{ij}^{(s)}$ и $|\ell_{ij}^{(s)}| \le b\cdot\tau^s$, $(i,j=\overline{1,n})$. Это следствие доказывает сходимость матрицы P^K к предельной, и эта сходимость экспоненциально быстрая, т.е. даже при сравнительно небольших значениях s матрицы P^s и A близки друг к другу. Далее можно доказать /3/, что если $P^s \to A$ $(s\to\infty)$, то

а) для любого вероятностного начального вектора распределения μ^0 последовательность векторов $\mu^1, \mu^2, \dots, \mu^s$ сходится к α при $s\to\infty$;

б) вектор α - единственный вероятностный вектор, для которого $\alpha\cdot P = \alpha$;

в) $P\cdot A = A\cdot P = A$.

Из пункта б) этой теоремы очевидно, что предельный вектор α можно найти как решение уравнения $\alpha\cdot P = \alpha$ или, в более удобной форме, $(I-P)\alpha = 0$.

С помощью этого предельного вектора α и получаем упорядочение множества X, приняв его за искомый вектор весов объектов из множества X.

Обобщим нашу схему для задачи упорядочения по многим критериям.

Пусть упорядочение происходит по m критериям $K_1, K_2, \dots, K_m$. Тогда по каждому частному критерию K_ν $(\nu=\overline{1,m})$ строим МВП $P^{(\nu)}$

по предыдущей схеме (существенно, что для исследования по каждому частному критерию могут быть привлечены разные группы экспертов).

Учитывая вес (важность) λ_ν каждого критерия K_ν $(\nu=\overline{1,n})$, формируем с помощью ЭВМ результирующую МВП с элементами

$$P_{ij} = \left(\sum_{\nu=1}^{m} \lambda_\nu P_{ij}^{(\nu)}\right)/m \qquad (i,j=\overline{1,n}).$$

Легко видеть, что они удовлетворяют тем же условиям.

С помощью полученной таким образом МВП процесс упорядочения по многим критериям опять сводится к нахождению решения уравнения $(I-P)\alpha = 0$, где P - МВП, составленная по многим критериям.

В заключение мы хотели бы поблагодарить канд. техн. наук В.А.Кумсиашвили за редактирование наших статей на уровне соавторства.

Литература

1. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сборник переводов. "Мир", М., 1976.
2. В.Е.Жуковин, М.А.Калоев. Сообщения АН ГССР, т.79, № 1, 1975.
3. В.Е.Жуковин, Н.Н.Смуров, Т.Ф.Киквадзе, К.Г.Мусхелишвили. Поиск компромиссных решений на основе эвристического эксперимента с лицом, принимающим решение. (См. настоящий сборник, стр. 293).
4. Л.Заде. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений, М., "Мир", 1976.
5. В.Е.Жуковин, Ф.В.Бурштейн, Н.М.Биниашвили. Шкалирование критериев эффективности в задачах принятия решений по многим критериям (См. настоящий сборник, стр. 304).
6. Джон Дж.Кемени, Дж.Лори Снелл. Конечные цепи Маркова. М., "Наука", 1970.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО МНОГИМ КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Жуковин В.Е., Кришман Я.С., Корелов Э.С., Кочарян А.Е.

В практических задачах управления современным производством выбор наилучшего решения почти всегда существенно зависит от конкретного состояния среды. Между тем выбор приходится осуществлять при отсутствии необходимой информации о состоянии "Природы". Поэтому представляет интерес разработка методов обоснованного выбора наилучших в определенном смысле решений на основе многих критериев эффективности при отсутствии необходимой информации или при наличии неполной (частичной) информации. В данной статье представлены два раздела, отражающие этот аспект принятия решений. В первом изложена процедура районирования (декомпозиции) множества возможных состояний среды, которая позволяет эффективно использовать неполную (частичную) информацию. Во втором разделе рассмотрены возможные алгоритмы коммутации для многоцелевых систем управления сложными технологическими процессами. Эта работа находится в стадии внедрения.

I. Многокритериальное принятие решений при наличии неопределенности и риска

Принятие решений при неопределенности и риске для случая одного критерия эффективности исследовано довольно полно /I,2/. В этом разделе мы рассмотрим некоторые задачи принятия решений при неопределенности и риске для векторного критерия эффективности. Задача многокритериального принятия решений фор-

мулируется как и ранее, только векторный критерий эффективности зависит от некоторого неизвестного параметра, характеризующего влияние внешней среды на процесс выбора наилучшего решения, как это принято в теории принятия решений при неопределенности и риске.

Пусть $K(x_i;\theta_j)=\{K_1(x_i;\theta_j),K_2(x_i;\theta_j),\dots,K_m(x_i;\theta_j)\}$ - векторный критерий эффективности, где $x_i\in X$, $\theta_j\in\Theta$ соответственно множество допустимых решений и множество состояний среды.

Изучение задачи мы начнем с определения и исследования свойств множества Парето. Для этого введем обозначение $X_n(\theta_j)\subset X$. Пусть $\theta^s\subset\Theta$, тогда

$$X_n(\theta^s)=\bigcap_{\theta_j\in\theta^s}X_n(\theta_j)\subset X. \qquad (I)$$

Вообще говоря, для некоторых θ^s множество $X_n(\theta^s)$ может быть пустым, в частности для Θ. Мы будем рассматривать лишь те θ^s, для которых это множество непусто. Множества $X_n(\theta^s)$ характеризуют некоторое свойство решений $x_i\in X$, которое мы называем устойчивостью решения по отношению к изменениям внешних условий. На их основе можно определить частичное транзитивное отношение порядка на X:

$$x_i\in X_n(\theta^s),\ x_y\in X_n(\theta^r),\ \theta^r\subseteq\theta^s\to x_i\overset{y}{\succsim}x_y. \qquad (2)$$

Решения x_i и x_y несравнимы по этому отношению порядка, если $\theta^s\cap\theta^r=\varnothing$. Пусть на Θ задана некоторая мера, которая характеризует важность того или иного состояния среды для ЛПР или вероятность осуществления того или иного состояния, как это делается в случае принятия решения при риске. Обозначим эту меру через $\ell(\theta^s)$, она задана на всех подмножествах Θ. Вопрос "Как задать эту меру практически?" в данном разде-

ле мы не обсуждаем. Тогда можно написать следующее условие:

$$\Theta_1^*: \max_{\Theta^s \subset \Theta} \ell(\Theta^s) \quad \text{и} \quad X_n(\Theta^s) \neq \varnothing. \qquad (3)$$

Соответственно имеем $X_n(\Theta_1^*)$. Повторим эту операцию:

$$\Theta_2^*: \max_{\Theta^s \subset \Theta/\Theta_1^*} \ell(\Theta^s) \quad \text{и} \quad X_n(\Theta^s) \neq \varnothing.$$

Соответственно получим $X_n(\Theta_2^*)$. И так далее, пока не исчерпаем всего Θ. В результате Θ разобьется на районы: $M = \{\Theta_1^*, \Theta_2^*, \dots, \Theta_\ell^*\}$, причем $\Theta_\nu^* \cap \Theta_s^* = \varnothing$, $i \neq s$, $i, s = \overline{1,\ell}$. Соответственно и X разобьется на районы: $N = \{X_n(\Theta_1^*), X_n(\Theta_2^*), \dots, X_n(\Theta_\ell^*)\}$, причем $X_n(\Theta_\nu^*) \cap X_n(\Theta_s^*)$, $i \neq s$, $i, s = \overline{1,\ell}$. Между M и N существует одно-однозначное соответствие. Те решения, которые не вошли ни в одно подмножество из N, не эффективны. Их можно не принимать во внимание при выборе наилучшего решения.

Таким образом, мы получим обобщение множества Парето на случай многокритериального принятия решений при неопределенности и риске, когда критерий "устойчивость" лексикографически предпочтительнее векторного критерия $K(x_i; \Theta_j)$

$$\mathcal{U}_n = [M, \varphi, N], \qquad (4)$$

где $\varphi: M \to N$ (одно-однозначное). При неопределенности $\ell(\Theta^s)$ можно интерпретировать как мощность Θ^s.

Определение I. Решение $x_i \in X$ называют Θ^o - эффективным, если $x_i \in X_n(\Theta^o)$ и $\Theta^o \in M$ (последняя запись означает, что Θ^o входит целиком в одно из множеств из M) или, что то же самое, $X_n(\Theta^o) \in N$.

В результате выделения $\mathcal{U}_n$ мы получили декомпозицию исходного представления ситуации многокритериального принятия решения при неопределенности и риске:

$$\Gamma = [X, \Theta, K(x_i; \Theta_j)] \to \Gamma_\nu = [X_n(\Theta_\nu^*), \Theta_\nu^*, K(x_i; \Theta_j)], \nu = \overline{1,\ell}. \qquad (5)$$

Введем обобщенный критерий эффективности:

$$\Phi(x_i; \Theta_j) = \Phi[K_1(x_i; \Theta_j), K_2(x_i; \Theta_j), \dots, K_m(x_i; \Theta_j)].$$

Он, вообще говоря, формируется с учетом предпочтений ЛПР на основе эвристического эксперимента (опроса). Поэтому имеет смысл уметь оценивать согласованность $\Phi(x_i; \Theta_j)$ с декомпозицией (5). Для того чтобы построить меру согласованности, нам необходимо рассчитать следующие величины:

а) $X^*(\Theta_j): \max_{x_i \in X} \Phi(x_i; \Theta_j) = \Phi_{max}(\Theta_j)$, $x^*(\Theta_j) \in X_n(\Theta_j)$.

$X^\nu(\Theta_j): \max_{x_i \in X_n(\Theta_\nu^*)} \Phi(x_i; \Theta_j) = \Phi^\nu(\Theta_j)$ для $\Theta_j \in \Theta_\nu^*$, $\nu = \overline{1,\ell}$;

б) $\gamma(\Theta_j) = \dfrac{\Phi^\nu(\Theta_j)}{\Phi_{max}(\Theta_j)}$, если $\Theta_j \in \Theta_\nu^*$, $\nu = \overline{1,\ell}$.

$0 \leq \gamma(\Theta_j) \leq 1$; $\gamma(\Theta_j) = 1$ при $X^*(\Theta_j) \in X_n(\Theta_\nu^*)$;

$\gamma(\Theta_j) = 0$, если $\Phi(x_i; \Theta_j) \equiv 0$ на $X_n(\Theta_\nu^*)$;

в) мера согласованности:

$$\delta(\Phi) = \sum_{\Theta_j \in \Theta} \ell(\Theta_j) \cdot \gamma(\Theta_j); \qquad (6)$$

$0 \leq \delta(\Phi) \leq 1$, поскольку $\sum_{\Theta_j \in \Theta} \ell(\Theta_j) = 1$.

Пусть $\delta(\Phi) \neq 1$. Это значит, что предпочтения ЛПР не согласованы с декомпозицией (районированием) (5). Чтобы добиться полной согласованности, декомпозицию (районирование) можно провести на основе следующего условия вместо исходного (3):

$$\Theta_1^*: \max_{\Theta^s \in \Theta} \ell(\Theta^s), \; X_n(\Theta^s) \neq \varnothing, \; X^*(\Theta_j) \in X_n(\Theta^s) \text{ для } \Theta_j \in \Theta^s. \qquad (7)$$

Естественно, число районов несколько увеличится.

Определение 2. Эффективным решением в случае многокритериального принятия решений при неопределенности и риске будет $X^* = (x_{i_1}^*, x_{i_2}^*, \dots, x_{i_\ell}^*)$, где $x_{i_\nu}^* \in X_n(\Theta_\nu^*)$, $\nu = \overline{1,\ell}$.

Для того чтобы найти эффективное решение при наличии $\Phi(x_i;\Theta_j)$, $[\delta(\Phi)=1]$, надо решить следующий набор ситуаций принятия решений при неопределенности или риске:

$$\mathcal{D}_\nu = [X_n(\Theta_\nu^*), \Theta_\nu^*, \Phi(x_i;\Theta_s)], \quad \nu=\overline{1,\ell}. \qquad (8)$$

Вышеприведенный подход более предпочтителен, чем если бы мы с самого начала искали решение для $\mathcal{D}=[X,\Theta,\Phi(x_i;\Theta_j)]$, поскольку такое районирование позволяет нам использовать частичную информацию типа: $\Theta_j \in \Theta_\nu^*$.

2. Многоцелевые системы управления

Примером таких систем могут служить системы централизованного управления (СЦУ) технологическим участком производства в ряде отраслей промышленности (например, металлургической, химической). Одна такая СЦУ обычно управляет несколькими объектами управления (ОУ) через распределительное устройство (РУ). Каждый ОУ характеризуется своим критерием эффективности $K_j(x)$, $j=\overline{1,m}$, $x\in X$, где X – множество допустимых управляющих воздействий, а $K_j(x)$ – критерий типа "потери". Одной из важнейших задач оптимального функционирования СЦУ является разработка и обоснование эффективных алгоритмов коммутации для РУ, контролирующих порядок подключения ОУ к СЦУ. Данный раздел посвящен именно разработке одного класса таких алгоритмов (алгоритмы стохастической коммутации).

В качестве обобщенного критерия эффективности берется

$$L(c,K) = \sum_{j=1}^{m} c_j K_j(x), \qquad (9)$$

c – n-мерный вектор из множества:

$$S = \left\{ c:\ c_j \geq 0,\ j=\overline{1,m},\ \sum_{j=1}^{m} c_j = 1 \right\}. \qquad (10)$$

Поскольку в каждый момент времени СЦУ может обслужить

лишь один ОУ, то в предположении, что целью управления по каждому ОУ является минимизация соответствующего частного критерия эффективности, множество допустимых управляющих воздействий примет вид:

$$x^* = \{ x_i^* \delta_{ij} ;\ j=\overline{1,m} \} = u_i, \text{ где } i=\overline{1,m}. \qquad (11)$$

При этом $x_i^*: \min_{x_i\in X_i} K_j(x_i)$, $X_i \subset X$ – подпространство X, δ_{ij} – символ Кронекера.

Тогда для (9) получим:

$$L(c,K) = \sum_{j=1}^{m} c_j K_j(u_i), \qquad (12)$$

где $K_j(u_j) = K_j(x_j^*) = K_j^*$ и $K_j^* < K_j(u_i)$ при $i \neq j$.

Задача построения эффективного алгоритма коммутации решается для обобщенного критерия типа (12) в предположении, что c является неопределенной величиной, вся информация о которой представлена областью (10). Неопределенность вектора c связана обычно с недостаточной изученностью технологического процесса, являющейся следствием его сложности и воздействия на него многих случайных неопределенных возмущений. Это обстоятельство можно интерпретировать таким образом, что выбор того или иного значения вектора c определяется средой, цель которой неизвестна, то есть c можно рассматривать как стратегию "Природы".

Пусть в общем случае мы применяем смешанные стратегии, определенные на множестве допустимых управлений:

$$P = \left\{ p_i :\ p_i = p(u_i);\ p_i \geq 0;\ i=\overline{1,m};\ \sum_{i=1}^{m} p_i = 1 \right\}. \qquad (13)$$

Тогда, если бы коэффициенты c_j нам были известны, оптимальную смешанную стратегию мы нашли бы из условия:

$$P^*: \min_{p\in P} \sum_{i=1}^{m} L(c,K)\cdot p_i = \min_{p\in P} \sum_{i=1}^{m} p_i \sum_{j=1}^{m} c_j K_j(u_i).$$

Но поскольку, как это было отмечено выше, коэффициенты c_j нам не известны, мы учтем самый худший для нас вариант значений коэффициентов c_j. Тогда оптимальная смешанная стратегия находится из условия:

$$P^*: \min_{P \in \mathcal{P}} \max_{c \in S} \sum_{i=1}^{m} p_i \sum_{j=1}^{m} c_j K_j(x_i) = V. \qquad (14)$$

Формула (14) приводит нас к выводу, что наша оптимальная смешанная стратегия является решением следующей матричной игры:

$$\Gamma = \langle \alpha, \beta, A \rangle, \qquad (15)$$

где $\alpha = \{\alpha_i;\ i=\overline{1,m}\}$, $\beta = \{\beta_j;\ j=\overline{1,m}\}$, $A = \{a_{ij};\ i,j=\overline{1,m}\}$. α_i – i-тая стратегия первого игрока, заключающаяся в выборе $u_i \in \mathcal{U}$; β_j – j-тая стратегия второго игрока в выборе j-того частного критерия эффективности; $a_{ij} = K_j(u_i)$, $a_{ij} \geq 0$. Мы найдем решение игры (15) для некоторого частного, но очень распространенного на производстве случая независимых ОУ, когда имеет место $K_j(u_i) = K_j(u_k)$ при $i \neq k$ и $i,k \neq j$.

Тогда элементы матрицы A можно представить в следующем виде:

$$a_{ij} = a_j^* \delta_{ij} + a_j(1-\delta_{ij}); \quad i,j=\overline{1,m}, \qquad (16)$$

где $a_j^* = K_j^*$; $a_j = K_j(u_i)$ при $i \neq j$; $a_j^* < a_j$.

Можно показать, что игра Γ имеет решение в чистых стратегиях, если выполнено условие:

$$\max_{j=\overline{1,m}} a_j^* = a_{j_0}^* = \max_{\substack{j=\overline{1,m} \\ j \neq j_0}} (a_j^*, a_j), \qquad (17)$$

и в смешанных стратегиях, если условие (17) не выполняется. При этом, если имеет место (17), РУ должно подключить СПУ к ОУ с номером $j = j_0$.

Для нахождения оптимальной смешанной стратегии, когда (17) не выполняется, мы применим последовательную процедуру вычеркивания несущественных столбцов (строк) матрицы A, предложенную нами в /4/ и расширенную в данном разделе на более широкий класс матриц A.

Рассмотрим последовательность игр:

$$\Gamma_\nu = \langle \alpha(\nu), \beta(\nu), A(\nu) \rangle, \quad \nu = 0,1,2,\ldots, \qquad (18)$$

где $\Gamma_0 = \Gamma$, $\alpha(\nu+1) \subset \alpha(\nu)$, $\beta(\nu+1) \subset \beta(\nu)$, $a_{i(\nu),j(\nu)} \in A(\nu) \subset A(\nu-1)$. Переход от Γ_ν к $\Gamma_{\nu+1}$ осуществляется вычеркиванием несущественных столбцов (строк) по следующему правилу:

$a_{j'(\nu+1)} < V(\nu) \to j'(\nu+1) \in J'_{\nu+1}$, $a_{j(\nu+1)} > V(\nu) \to j(\nu+1) \in J_\nu$, где $V(\nu)$ определяется ниже (19); $J'_{\nu+1}$ – множество номеров стратегий, которые вычеркиваются на $(\nu+1)$-ом шаге; J_ν – множество номеров стратегий, не подлежащих вычеркиванию на $(\nu+1)$-ом шаге; $J_{\nu+1} \subseteq J_\nu$, $J_0 = J = \{j = \overline{1,m}\}$; $m(\nu)$ – число элементов в J_ν, $m'(\nu)$ – число элементов в J'_ν, $m(0) = m$; $m(\nu+1) = m(\nu) = m'(\nu+1)$, $a_{j(\nu)} \geq V(\nu-1)$ для всех $j(\nu) \in J_\nu$. Теперь мы приведем основную формулу, на которой основана последовательная процедура вычеркивания несущественных (неактивных) стратегий:

$$V(\nu) = \frac{n(\nu) - 1 + \sum\limits_{j(\nu) \in J_\nu} \dfrac{a^*_{j(\nu)}}{a_{j(\nu)} - a^*_{j(\nu)}}}{\sum\limits_{j(\nu) \in J_\nu} \dfrac{1}{a_{j(\nu)} - a^*_{j(\nu)}}}; \quad \nu = 0,1,2,\ldots. \qquad (19)$$

Дело в том, что структура матрицы A позволяет нам вычислить $V(\nu)$ для каждого шага ν по формуле (19). При этом выполняется

$$V(\nu) < V(\nu+1) \quad \text{при} \quad m'(\nu) \neq 0,$$
$$V(\nu) = V(\nu+1) \quad \text{при} \quad m'(\nu) = 0,$$

$$V(-1) = 0.$$

Последовательная процедура заканчивается на n-том шаге, для которого $V(n) = V(n+1)$. Тогда оптимальная смешанная стратегия первого игрока в игре Γ вычисляется по формуле:

$$p_i^* = P(\alpha_i \in \alpha) = \begin{cases} 0, & \text{при } a_i < V(n), \\ \dfrac{a_i - V}{a_i - a_i^*}, & \text{при } a_i \geqslant V(n), \end{cases} \qquad (20)$$

и $V(n)$ является ценой игры Γ_0.

Таким образом, когда (17) не выполнено, оптимальным является алгоритм стохастической коммутации, основанный на формуле (20). Он гарантирует средние потери, не превосходящие $V(n)$ (гарантированный уровень потерь), и хотя этот алгоритм является "перестраховочным", большего добиться при отсутствии дополнительной информации не представляется возможным.

Уменьшения $V(n)$ можно добиться только получением дополнительной информации о коэффициентах c_j, т.е. сужением области S, а для этого необходимо использовать адаптивные процедуры /3,4/.

Построенный алгоритм стохастической коммутации реализован в разработанный стохастический СПУ. На ЭВМ "ЕС-1020" было проведено исследование этой системы путем моделирования ее работы на базе экспериментальных данных, описывающих технологический процесс подготовки агломерационной шихты. Данные были получены на агломерационной фабрике Челябинского металлургического завода.

Результаты исследований показали эффективность применения алгоритма стохастической коммутации в СПУ технологическими участками производства, обладающими сложной структурой.

Литература

1. Ю.Б.Гермейер. Введение в теорию исследования операций. "Наука", М., 1971.
2. Р.Л.Льюс, Х.Райфа. Игры и решения. ИЛ, 1961.
3. А.С.Краснокер. Об адаптивном подходе к задаче принятия решения при нескольких критериях. В сб."Вопросы оптимального программирования в производственных задачах." Изд-во Воронежского университета, 1972.
4. А.А.Бадельбаев, Ю.А.Дубов, Б.Л.Шмульян. Автоматика и телемеханика, № 1, 1976.
5. В.Е.Жуковин, Я.С.Кришман. Сообщения АН ГССР, т.81, № 1, 1976.

ВЫДВИЖЕНИЕ И ПОДБОР КАДРОВ МЕТОДОМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ

Калоев М.А., Кизакян Л.В., Фролова С.В.

Одной из основных проблем, затрудняющих применение известных математических методов для решения народнохозяйственных задач, в том числе и в АСУП, является проблема представления качественных признаков, характеризующих объекты исследования наряду с количественными, в виде определенных количественных закономерностей, используемых в математических моделях.

Кроме того, проблема представления качественных признаков в виде количественных закономерностей (шкалирование качественных характеристик) имеет и самостоятельный научный и практический интерес, например, при принятии оптимального решения, выборе наиболее целесообразной траектории действия, выявлении наиболее предпочтительного элемента из множества, упорядочении элементов множества с целью распределения ограниченных средств между ними и т.д.

Подобная проблема очень часто возникает перед специалистами-разработчиками АСУ, системщиками, экономистами, плановиками, технологами, социологами и др.

Методологической основой решения подобных задач по шкалированию является метод многокритериального шкалирования качественных характеристик в системном анализе, разработанный в Институте кибернетики АН ГССР /1-4/ .

Необходимая информация относительно предпочтения элементов по качественным признакам выявляется из опроса специалистов (экспертный опрос).

Как показывает опыт отечественных и зарубежных исследо-

вателей, решение подобных задач на основе использования непосредственно экспертных оценок значения признака не дает должных результатов. Это связано с субъективностью экспертных оценок, громоздкостью процедур экспертного опроса и рядом других факторов.

Результаты экспертного опроса можно использовать лишь как информацию в логически обоснованных математических моделях, но никак не заменять ими сам процесс решения задачи. Кроме того, необходимо учесть, что чем больше недостоверность этой информации (а недостоверность результатов экспертного спроса тем больше, чем сложнее предлагаемые экспертам для решения задачи), тем больше недостоверность получаемых в конечном итоге результатов решения, даже если математическая модель безупречна. Поэтому если для получения некоторой информации экспертный опрос группы специалистов выступает как необходимость (других возможностей для получения этой информации нет), то математическую модель необходимо построить таким образом, чтобы она работала и давала достаточно приемлемое решение на основе использования простейшей информации.

Среди множества задач, задача о подборе кадров является задачей такого типа, решаемой в системе пускового комплекса АСУ ПО "Электровозостроитель".

Целью решения задачи является получение достоверной и полной информации о кандидатах на замещение вакантных должностей, представляемой руководству объединения для принятия оптимальных решений по выдвижению и расстановке ИТР.

В результате решения задачи выдается информация (в виде количественной шкалы предпочтений) о предпочтениях на множестве кандидатов по всем отдельным характеристикам (критериям)

и по комплексу всех критериев. Задача решается для каждой конкретной должности в отдельности и по потребности.

Нормативно-справочная информация, необходимая для решения задачи, состоит из:

а) общего списка количественных критериев;

б) общего списка качественных критериев;

в) информации, полученной в ходе решения задачи (должность и соответствующие критерии, порядок предпочтения на критериях и т.д.), - накопленного опыта решения задачи.

Входная оперативная информация состоит из:

а) набора критериев, соответствующего должности, для которой решается задача;

б) данных экспертного опроса относительно порядка предпочтения на данном наборе критериев;

в) личных карточек учета кандидатов на замещение вакантных должностей;

г) результатов экспертного опроса (или психологического эксперимента) по качественным критериям. Множество критериев для каждой должности формируется на основе использования метода ИПИД, разработанного академиком АН ГССР Чавчанидзе В.В. /6/ и в соответствии с требованиями потребителя.

По критериям, заданным в количественной форме (например, "Стаж работы"), шкалирование происходит следующим образом. Сначала находятся выражения:

$$P(I,J,V) = \frac{1}{2K(V)} \cdot [F(I,V) - F(J,V)] + \frac{1}{2},$$

где $P(I,J,V)$ - вероятности предпочтения на парах альтернатив (кандидатов), $F(I,V)$ - значение количественного критерия для I -того кандидата,

$$K(V) \geq \max_{\{I,J\}} |F(I,V) - F(J,V)|,$$

а V - индекс критерия.

Шкала предпочтений окончательно для количественных показателей задается следующей формулой:

$$M(I,V) = \frac{2}{N^2} \cdot \sum_{J=1}^{N} P(I,J,V). \qquad (I)$$

Для критериев, заданных качественно (в словесной форме, например: "Организаторские способности") выражения $P(I,J,V)$ определяются на основе статистической обработки данных экспертного опроса (или психологического эксперимента), а шкала предпочтений - согласно формуле (I).

Многокритериальная шкала предпочтений задается выражением:

$$M(I) = \sum_{V=1}^{T} L(V) \cdot M(I,V),$$

где $L(V)$, $(V=\overline{1,T})$ - шкала важности критериев, определяемая также на основе указанной методики.

В результате работы программы, реализующей решение задачи, формируется документ "Сведения о кандидатах на замещение вакантных должностей", содержащий необходимую для принятия решения информацию.

Данные, необходимые для построения нормированной в сегменте [0,I] шкалы интервалов /I/ по количественным критериям, берутся из учетных карточек (форма Т-2) кандидатов.

Экспертный опрос относительно порядка предпочтения критериев проводится в один этап. Для выявления этого порядка используется метод ранжирования /5/, как наиболее подходящий метод, когда множество упорядочиваемых элементов не велико.

Экспертный опрос относительно порядка предпочтения кан-

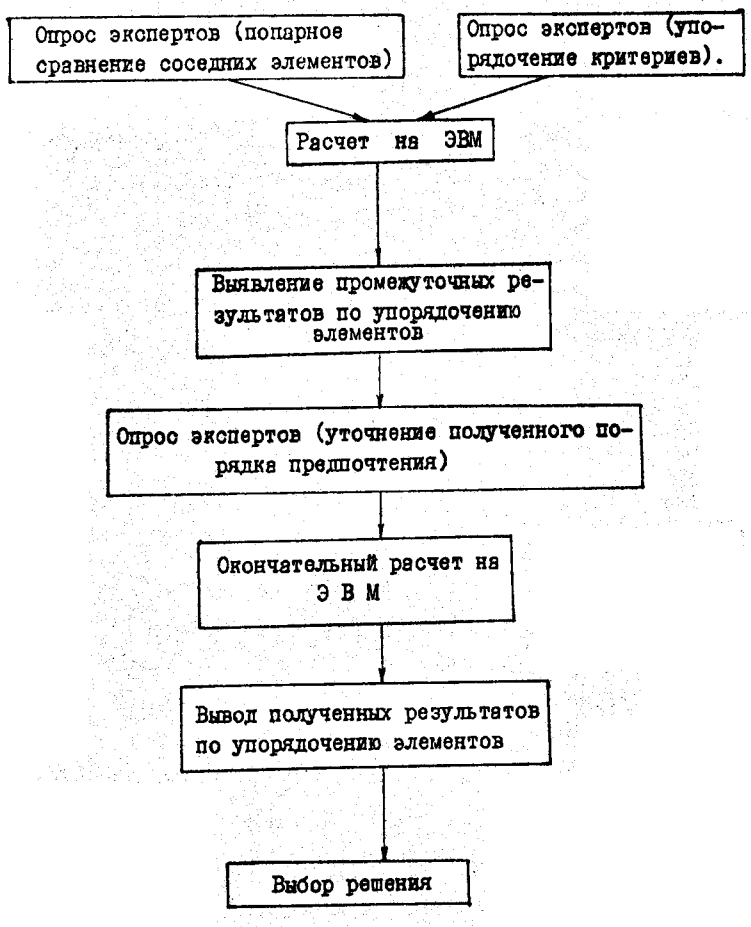


Схема решения задачи в диалоговом режиме "Эксперт-ЭВМ".

Рис.I.

дидатов по качественным критериям проводится в два этапа (рис.I).

На первом этапе экспертному оцениванию по каждому качественному критерию подвергаются пары соседних элементов $(A(I), A(I+1))$ упорядочиваемого множества. Расположение элементов во множестве произвольно, например, по алфавиту. Такой подход, как доказано в работе /4/, позволяет на основе минимально возможной информации типа "хуже", "лучше", "эквивалентно" получить предварительный порядок предпочтения элементов по всем критериям и построить шкалу.

После обработки на ЭВМ выдается следующая информация:

- наименование критерия,

$N(V,I)$ - порядковый номер важности $A(I)$ -того элемента по V - тому критерию качества $(I=\overline{1,N},\ V=\overline{1,T})$.

На втором этапе эксперты должны поставить числа $N'(V,I)$,уточняющие порядок предпочтения элементов по соответствующим критериям.

Работа экспертов на втором этапе облегчается тем, что имеется предварительный порядок предпочтения, отражающий мнение группы экспертов, делающий множество элементов более обозримым.

Индивидуальные экспертные оценки сохраняются в тайне с целью выявления объективного мнения каждого эксперта.

Заполненные таким образом на втором этапе экспертного опроса анкеты служат входной информацией для второго этапа вычисления на ЭВМ, в результате которого на входном устройстве ЭВМ выдается документ "Сведения о кандидатах на замещение вакантных должностей" (рис.2).

Сведения о кандидатах на замещение вакантных должностей

Список кандидатов на замещение вакантных должностей	Критерии				Многокритериальная оценка	Порядковый номер кандидата
	$K_1(1)$	$K_1(2)$	. . .	$K_T(T)$		
	Шкала критериев					
	$L(1)$	$L(2)$	. . .	$L(T)$	$M(I)$	$N(I)$
$A(1)$						
$A(2)$						
. . .						
$A(N)$						

Рис.2.

Пакет прикладных программ по методике апробирования реализован на ЭВМ ЕС, и в настоящее время задача находится в стадии внедрения.

Литература

1. В.Е.Куковин, М.А.Калоев. Многокритериальное шкалирование качественных характеристик в системном анализе. Сообщения АН ГССР, т.79, № I, 1975.
2. В.В.Чавчанидзе и др. Метод многокритериального шкалирования при формировании оптимального годового плана капстроительства отрасли. Сб. "Наука производству", "Мецниереба", Тбилиси, 1975.
3. М.А.Калоев. В сб. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход). Тбилиси, 3-8 сентября 1975 г., 246.

4. М.А.Калоев, Т.В.Долидзе. Шкалирование на основе минимальных экспериментальных данных. Материалы I Конференции молодых ученых Закавказья по автоматическому управлению. Тбилиси, 1977.
5. Статистическое измерение качественных характеристик. Сб. "Статистика", М., 1972.
6. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Под ред. В.В.Чавчанидзе. "Мецниереба", Тбилиси, 1974.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ, РАБОТАЮЩАЯ В РЕЖИМЕ "ЗАПРОС - ОТВЕТ"

Мунджишвили З.И., Гигилашвили Т.Г.

В связи с созданием современных вычислительных систем ЕС появилась возможность разрабатывать и внедрять АСУ крупными промышленными комплексами, отвечающими требованиям практики. В существующих в настоящее время разработках из-за ограниченной возможности технических средств и операционных систем, а также отсутствия достаточного опыта создания больших систем управления основной упор делался на автоматизированную обработку комплекса задач планирования и управления, т.е. реализовалась система, работающая в режиме местной пакетной обработки.

Такой режим работы системы никак не удовлетворяет требованиям производства, так как основная трудность производства - ситуационное слежение за работой производственных участков, оценка ситуации, формирование производственных решений и контроль их исполнения - оставалась вне поля зрения.

Фактически разговор идет о создании системы, работающей в нескольких режимах: пакетной обработки, "запрос-ответ", диалоговом режиме.

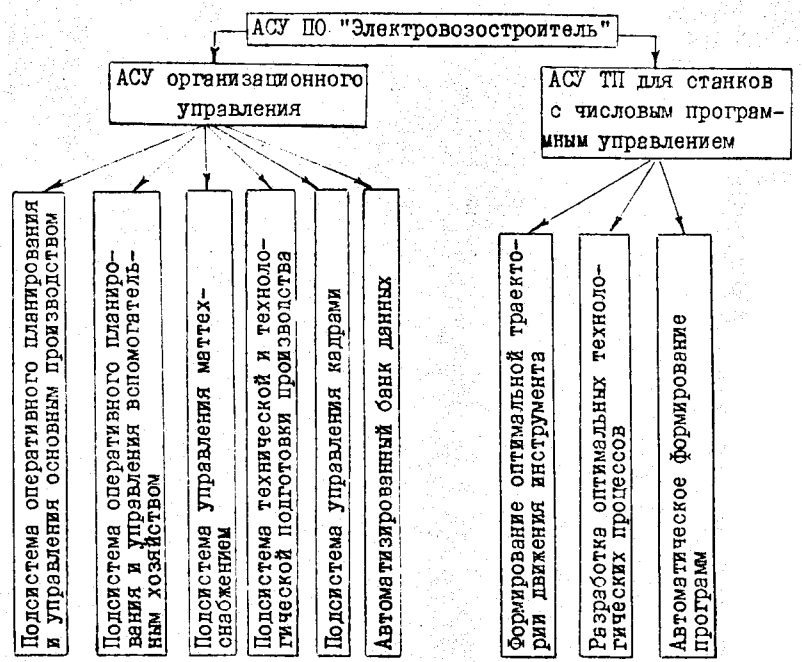
Кроме того, исходя из внутренней природы системы управления, необходимо создать интегрированную систему, охватывающую процессы организационного и технологического управления.

Отсутствие аналога такой системы вызывает трудности научного, технического и организационного характера. Инструментарием разработки такой системы для промышленных предприятий

является системный подход и сформулированные нами достаточные и необходимые условия выбора задач, обеспечивающие оптимальное функционирование системы.

Эти условия - принципы исходят из сущности управления социалистическим производством и общесистемных кибернетических принципов /I/. Из приведенных принципов многие известны, а некоторые сформулированы нами путем обобщения накопленного нами теоретического и практического опыта.

Исходя из изложенного выше, интегрированная АСУ ПО з-да "Электровозостроитель" разрабатывается как совокупность АСУ организационного и технологического управления. В 1975-1979 гг. будет разработана первая очередь системы (рис.I).



Основными элементами интегрированной АСУ являются:

I. Технические средства переработки информации (ЭВМ и средства сбора и передачи информации).

2. Методы управления - экономические, кибернетические, административные, социально-психологические.

3. Специалисты, занятые в области управления.

В АСУ организационного управления предусматривается решение таких задач, как: расчет плана изготовления деталей и узлов, формирование плана снабжения, оперативный контроль, регулирование процесса управления и др. Всего в АСУ первой очереди решается 65 крупных задач.

АСУ ТП представлена системой автоматического программирования для станков с числовым программным управлением. В первую очередь системой реализуются задачи автоматизации вычисления координат точек, формирования программы для станка с выдачей на перфоленту. Исходными данными для составления программы являются данные о конфигурации детали, представленные на чертеже, а также сведения о видах точек.

Форма представления данных табличная.

Основой решения всех задач управления является автоматизированный банк данных (АБД), допускающий работу системы в режимах пакетной обработки, "запрос-ответ", диалоговом режиме. В первой очереди АСУ реализуются первые два режима.

Структурными элементами АБД являются база данных и пакеты прикладных программ, обеспечивающие организацию и ведение базы данных. База данных АСУ построена таким образом, что она удовлетворяет следующим требованиям:

- возможность эффективного обслуживания массивов данных;
- защита данных от неправильного доступа к записи;

- своевременная выдача любой информации по запросам пользователей.

В настоящее время разработаны разные пакеты прикладных программ (ППП), удовлетворяющие этим основным требованиям. Среди них можно выделить секторно-ориентированную систему программирования НСИ-I-ДОС /2/.

Основными функциями НСИ-I-ДОС являются: определение, накопление, поиск.

При выполнении функции "определение" с помощью инструкций (операторов) системы пользователь создает массив таблиц описания данных (ТОД). С помощью инструкций функции "накопление" пользователь организует на МД или на МЛ массивы данных и выполняет следующее обслуживание уже организованных массивов данных:

- расширение записей;
- добавление записей;
- стирание записей;
- изменение значений реквизитов внутри одной записи;
- консервацию записей;
- активизацию записей.

При этом система имеет возможность за один программный цикл выполнять: добавление, стирание, консервацию, активизацию, изменение записей.

При выполнении функции "поиск" по произвольно выбранным пользователем условиям (запросам) система осуществляет своевременный поиск и выдачу всех записей, удовлетворяющих данным условиям на любой носитель данных.

В функциях накопления и поиска предусмотрены точки выходов для включения дополнительных модулей пользователя.

Система с помощью программно-технических средств допускает защиту от неправомочного накопления и поиска данных, основой которого являются коды доступа и коды памяти, которые пользователь задает системе.

Стандартный пакет НСИ-I-ДОС имеет некоторые недостатки, снижающие эффективность работы системы в режиме "запрос-ответ", а именно:

- ввод запроса осуществляется только с помощью перфокарт;
- невозможно получить итоговые данные по строкам матрицы
- внесение изменений осуществляется только в линейных массивах.

Разработанные дополнительные модули расширяют возможности банка данных.x) Модуль - ввод запроса с пульта оператора - позволяет ввести в ЭВМ запросы с пишущей машинки и тем самым в несколько раз уменьшить время ответа. Специальный модуль позволяет при запросе получить итоговые данные по столбцам и строкам матрицы. Это дает возможность при запросе выдавать различные документы типа таблиц, готовых к использованию на разных уровнях управления.

НСИ-I-ДОС позволяет вносить изменения в отдельные записи массива. В АСУП часто возникает и такая ситуация, при которой необходимо вносить изменения в множество записей, объединенных одним идентификационным признаком. Кроме того, изменение значений в записях данного (исходного) массива вызывает изменения в записях других массивов, образующих

x) Дополнительные модули разработаны сотрудниками ИК АН ГССР: Хандолишвили З.А., Махарашвили И.А., Гигилашвили Т.Г.

иерархическую структуру массивов. При этом перед внесением изменений в иерархические массивы необходимо осуществить определенные преобразования в записях исходного массива. Дополнительный модуль, оформленный в виде макрокоманд, позволит выполнить эти операции.

В настоящее время с помощью секторно-ориентированной системы НСИ-I-ДОС написаны, отлажены и апробированы на экспериментальных данных программы организации базы данных. программы поиска. Всего составлено около 200 программ поиска. Каждая программа реализует какой-либо типовой алгоритм поиска. Критерием типизации алгоритмов поиска является количество условий в поиске и вид выдаваемой записи (единичные или блокированные). Каждая программа поиска предусматривает неограниченное количество поисков в базе данных.

Внедрение интегрированной системы управления ПО "Электровозостроитель" (первая очередь), предусматривающей работу системы в режимах пакетной обработки и "запрос-ответ", будет осуществляться в 1978-1979 гг.

Литература

I. З.И.Мунджишвили. Разработка кибернетической системы оперативного управления, Сб."Наука - производству". "Мецниереба", Тбилиси, 1975.

2. ДОС/ЕС Секторно-ориентированная система программирования САВИ. Описание программ и их применения. Руководство системного программиста, ЦНИИТУ, Минск.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АСУ

(Теоретические и практические аспекты)

Мунджишвили З.И.

Совершенствование системы управления является одной из задач десятой пятилетки, от решения которой не в малой степени зависит успешное выполнение главной задачи пятилетки - повышение эффективности народного хозяйства.

Совершенствование системы управления народным хозяйством - комплексная и многогранная проблема, охватывающая все звенья управления народным хозяйством. Особенно актуально решение этой проблемы на низовом уровне управления - на уровне предприятий, там, где непосредственно создаются материальные блага и решаются вопросы эффективности.

Комплексность проблемы совершенствования системы управления обусловлена самой природой управляющего объекта и включает вопросы, связанные с совершенствованием экономического механизма; правового обеспечения; организационной, информационной, функциональной структуры; технической и технологической базы. Совершенствование указанных аспектов становится необходимым, если рассматривать АСУ как ступень управления, при которой достигается оптимальность функционирования экономического органа управления. Естественно, необходимо разработать методологические вопросы совершенствования разных аспектов функционирования объекта.

Здесь возникает следующий круг вопросов:

- разработка методологии создания оптимальной системы управления;
- исследование возможностей совершенствования процесса

создания систем оптимального управления;
- разработка типовых алгоритмов и программ.

В Отделе информационных и интегративных систем Института кибернетики АН ГССР с 1972 по 1977 гг. проводились теоретические исследования и практические опыты по решению указанного круга вопросов.

В научном аспекте создание АСУ является задачей построения системы управления кибернетического типа, реализующей основные принципы саморегулирования. В таких системах механизм саморегулирования должен представлять собой гомеостазис, позволяющий без вмешательства извне осуществлять целенаправленное оптимальное управление объектом.

В настоящее время ряд работ посвящен исследованию механизмов управления предприятием. Большинство из них относится к машинному моделированию технико-технологической и организационной структуры предприятия или же общих принципов управления предприятиями, отраслями, народным хозяйством /1-4/.

В указанных работах не встречаются конкретные разработки механизмов управления кибернетического типа. Опираясь на общие принципы управления социалистическим производством, разработанные В.И.Лениным, а также на ряд специфических принципов, появившихся при создании АСУ (таких, как: принцип системного подхода, принцип типовости, принцип первого руководителя, принцип интеграции переработки данных и т.п.), нами сформулированы достаточные и необходимые условия выбора задач, обеспечивающие оптимальное функционирование системы / 5 /. Эти условия - принципы исходят из сущности управления социалистическим производством и общесистемных кибернетических принципов. На основе этих принципов запроектированы АСУ Джез-

казганским горно-металлургическим комбинатом, АСУ ПО "Электровозостроитель", находящиеся в настоящее время в стадии внедрения.

Разработка АСУ - творческий процесс, требующий постоянного совершенствования, поиска путей повышения качества разработок вплоть до автоматизации процесса разработки АСУ.

Нами разработана и внедрена методика исследования информационных структур объекта управления с применением ЭВМ ЕС.

Исследование информационной структуры опирается на широкое участие работников органа управления. Методом исследования является метод сплошного исследования. Исследование осуществляется на двух уровнях - на уровне документов и на уровне показателей. С помощью ЭВМ автоматически строится информационная сеть движения документов, анализируется циркуляция документов в экономическом органе управления по разным признакам. Результаты анализа, полученные с помощью ЭВМ, позволяют принять решение о структуре базы данных, способах, форме, частоте и периодичности передачи информации, о графике решения задач на ЭВМ, выбрать режим функционирования автоматизированной системы и др. Кроме того, с помощью ЭВМ автоматически строится алгоритмическая сеть обработки данных, которая является техническим заданием на программирование.

Помимо исследования информационной структуры при создании АСУ возникают задачи: формирования множества целей $G_i \ (i=\overline{1,n})$; выработки альтернативных траекторий достижения каждой подцели $g_{ij} \ (j=\overline{1,m})$; выбора оптимального варианта действий , а также задача исследования функций объекта управления для выявления перечня задач, подлежащих автоматизации. Кроме того, необходимо исследование методов и средств решения задач, системы правового, экономического обеспечения, уровня механизации и автоматизации технологических процессов и др.

Исследования такого типа являются интеллектуальным процессом, опирающимся на психоэмоциональный эффект. Методом, позволяющим учитывать перечисленные требования и успешно решать поставленную задачу исследования и анализа функций и задач управления, является метод психоэвристического программирования / 6 /.

На основе этого метода нами разработана методика и программы исследования и анализа функций и задач управления предприятием, апробированные при создании АСУ Джезказганским горно-металлургическим комбинатом, ПО "Электровозостроитель" и Минбыта ГССР / 7 /.

Методика и программы могут быть использованы разработчиками АСУ предприятий.

Разработка типовых модулей или типовых систем является первоочередной задачей, позволяющей в несколько раз повысить эффективность АСУ.

В настоящее время ГКНТ СМ СССР выпущены типовые проектные решения по отдельным подсистемам /8-13/. В отделе разработана автоматизированная система планирования и управления ремонтными работами. Система является типовой и может быть применена на всех предприятиях, выполняющих текущие и капитальные ремонты / 14 /. Система разработана с учетом опыта эксплуатации аналогичных систем и на основе принципов и условий, сформулированных в работе / 5 /.

В системе реализуются все основные функции управления:

планирование, учет, контроль, регулирование, формирование производственных решений и контроль их исполнения.

Формирование плана осуществляется в два этапа: разработка проекта плана и разработка укрупненного плана. Планы разрабатываются на различные временные интервалы: год, квартал, месяц, сменно-суточное задание. Только сменно-суточному заданию не предшествует стадия разработки проекта плана. Проекты планов разрабатываются в нескольких вариантах с разными ограничениями мощностей, трудовых ресурсов, материальных ресурсов. Принимается условие потребителя, а именно необходимость готовности какого-либо отремонтированного агрегата к определенному времени. После уточнения источников и величины поступающих ресурсов рассчитывается укрупненный план ремонта оборудования с указанием даты запуска - выпуска каждого вида оборудования.

Критерием оптимизации плана является максимальная загрузка оборудования, на котором производится ремонт.

На основе составленного плана формируется детализированное сменно-суточное задание в разрезе технологических операций с увязкой даты выполнения каждой операции и конкретного производственного участка. На основе этого плана - графика составляется план - график централизованного завоза материалов, обеспечения трудовыми ресурсами и др.

В дальнейшем системой осуществляется решение задач учета, контроля, прогноза, формирования решений и контроля их исполнения. По мере анализа результатов вырабатываются управляющие сигналы о корректировке плана - графика ремонта оборудования. Программы написаны на алгоритмическом языке PL/1 для ЭВМ ЕС, объединены единой логикой, охватывают 80 программ

разного назначения на основе автоматизированного банка данных (АБД).

С помощью АБД осуществляется организация массивов, внесение изменений в них и реализация системы в режиме "запрос - ответ".

Система "АСУ-ремонт" внедряется в ПО "Электровозостроитель" и в АСУ Джезказганским горно-металлургическим комбинатом.

Исходя из естественной функциональной структуры управления АСУ должна охватывать процессы организационного и технологического управления. Интегрированная АСУ, разрабатываемая для ПО "Электровозостроитель", базируется на АБД и предусматривает решение задач планирования и управления производством и технологическими процессами для станков с ЧПУ.

АБД организован с помощью пакета прикладных программ НСИ-I-ДОС, функциональная возможность которого расширена путем добавления нами специальных программных модулей. Накопленный опыт позволяет разработать АБД и систему, работающую в режиме "запрос - ответ" для любой АСУ.

С целью повышения эффективности функционирования интегрированной АСУ система будет работать в нескольких режимах: пакетной обработки, "запрос - ответ", диалога. Более подробно об этом говорится в статье З.И.Мунджишвили, Т.Г. Гигилашвили (см. настоящий сборник, стр.344).

Существующие математические методы не позволяют моделировать поведение объекта в реальном масштабе времени. В задачах организационного управления часто возникает необходимость моделирования такого типа. При этом количество факторов, влияю-

щих на процесс, достигает нескольких десятков, среди которых многие имеют вероятностный характер. Имитационная модель формирования оптимальной производственной программы моделирует в реальном масштабе времени процесс добычи полезных ископаемых. В модели 48 факторов, среди которых 28 имеют вероятностный характер.

Экспериментальные расчеты по программам, составленным ст.н.с. П.Г.Пирцхалава, выполненные на ЭВМ ЕС, позволяют нам сделать вывод о приемлемости модели на большинстве предприятий цветной металлургии страны, осуществляющих добычу полезных ископаемых.

Многие задачи организационного управления можно смоделировать методами регрессионного и корреляционного анализа. Построение адекватной многофакторной модели исследуемого процесса - трудоемкая и сложная задача.

Разработанный нами пакет прикладных программ при заданных статистических данных факторов и процесса обеспечивает автоматическое построение (с помощью ЭВМ ЕС) адекватной многофакторной модели.

Одной из основных проблем, затрудняющих применение известных математических методов для решения народнохозяйственных задач, в том числе и в АСУП, является проблема представления качественных признаков, характеризующих объекты исследования наряду с количественными, в виде определенных количественных закономерностей, используемых в математических моделях.

Подобная проблема очень часто возникает перед специалистами, разработчиками АСУ, системщиками, экономистами, плановиками, технологами, социологами и др.

В качестве методологической основы решения подобных задач может быть использован метод-"многокритериальное шкалирование качественных характеристик в системном анализе", разработанный в ИК АН ГССР / 15-17 /.

В отделе информационных и интегративных систем ИК АН ГССР широко используется этот метод для решения различных задач в рамках ОАСУ и АСУП.

В качестве иллюстрации использования метода можно привести пример решения задачи: "Учет и выдвижение руководящих кадров и кандидатов на замещение вакантных должностей подсистемы "АСУ-кадры" /18/.

Целью решения задачи является получение достоверной и полной информации о руководящих работниках и кандидатах на замещение вакантных должностей, представляемой руководству отрасли (объединения) для принятия оптимальных решений по выдвижению и расстановке кадров.

Результатом функционирования подсистемы является информация, количественно характеризующая каждого руководящего работника и кандидата на замещение вакантных должностей по всем интересующим руководство признакам, общая количественная характеристика работника и порядковый номер приоритетности работников по каждой конкретной должности, на которую они могут быть назначены, согласно своим профессиональным данным.

Пакет прикладных программ, разработанный в отделе x), апробирован, реализован на ЭВМ ЕС и в настоящее время внедряется на предприятиях и в организациях республики.

---

x) ППП разработан к.т.н. Калоевым М.А., Кизакян Л.В., Фроловой С.В.

Резюмируя теоретические исследования и практические опыты, проводимые в Отделе информационных и интегративных систем ИК АН ГССР, можно сделать следующие выводы.

I. Разработаны методологические вопросы определения функциональной структуры АСУ предприятиями. Сформулированы необходимые условия выбора функций и задач управления, обеспечивающих оптимальное функционирование системы.

2. Разработана методика исследования и анализа информационной структуры экономического органа управления, позволяющая с помощью ЭВМ определить структуру базы данных и построить интегрированную сеть обработки данных. Методика и программы могут быть использованы разработчиками АСУ разных уровней управления народным хозяйством.

3. На базе метода психоэвристического программирования разработана методика и программа системного исследования функциональной структуры объекта управления. Она может быть применена специалистами, работающими над совершенствованием системы управления.

4. Разработана типовая система планирования и управления ремонтными работами "АСУ-ремонт", обеспечивающая оптимальное планирование, учет, контроль, регулирование, прогнозирование, формирование производственных решений и контроль их исполнения. Программы написаны на алгоритмическом языке PL/1 для ЭВМ ЕС, объединяют около 80 программ, система базируется на АБД. "АСУ-ремонт" может быть использована на всех предприятиях или участках, осуществляющих текущие и капитальные ремонты оборудования, зданий, сооружений и т.п.

5. Накоплен опыт создания АБД и систем, работающих в режиме "запрос-ответ". На основе имеющегося опыта может быть

разработана АБД и запросно-ответный режим фактически для любых АСУ.

6. Разработана и находится в процессе опытного внедрения АСУ ТП для станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Система позволяет с помощью ЭВМ ЕС автоматически формировать программы для станков с ЧПУ. Она применима на предприятиях, имеющих станки с ЧПУ.

7. Разработана подсистема подбора кадров в системе "АСУ-кадры", обеспечивающая подбор кандидатуры на вакантную должность методом многокритериального шкалирования (с использованием ЭВМ ЕС).

8. Разработан пакет программ для ЭВМ ЕС, позволяющий автоматически формировать многофакторные математические модели.

9. Разработана имитационная модель и проведены экспериментальные расчеты на ЭВМ ЕС по формированию оптимальной программы добычи полезных ископаемых. Она может быть использована на предприятиях цветной металлургии страны, занятых добычей полезных ископаемых.

Литература

I. Автоматизированная система управления (теория и методология), т.I-II. Под ред.проф. Козловой О.В. "Мысль", М., 1972.

2. С.Думлер, М.И.Макарский. Применение ЭВМ в системе непрерывного управления по методу Новочеркасского завода, Сб. "Математические методы в организации и экономике производства". "Машиностроение", М., 1976.

3. Г.Х.Попов. Проблемы научного управления. "Экономика", М., 1974.

4. М.Е.Перельман. Построение моделей автоматизированных систем оперативного управления производством. "Статистика", М.,1973.

5. З.И.Мунджишвили. Разработка кибернетической системы оперативного управления. Сб. "Наука производству", "Мецниереба", Тбилиси, 1975.

6. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Психоэвристическое программирование. Под ред. акад. АН ГССР В.В.Чавчанидзе. "Мецниереба", Тбилиси, 1974.

7. З.И.Мунджишвили. Применение методов психоэвристического программирования в проектировании АСУ. Тезисы доклада I Всесоюзной конференции по АСУ, Тбилиси, 1976.

8. Типовые проектные решения АСУП. Общие принципы построения типовых проектных решений. Подсистема сбыта и реализации продукции. "Статистика", М., 1974.

9. Типовые проектные решения АСУП. Подсистема технико-экономического планирования. "Статистика", М., 1975.

10. Типовые проектные решения АСУП. Подсистема управления материально-техническим снабжением. "Статистика", М., 1975.

11. Типовые проектные решения АСУП. Подсистема бухгалтерского учета. "Статистика", М., 1975.

12. Типовые проектные решения АСУП. Подсистема оперативного управления основным производством. "Статистика", М., 1975.

13. Типовые проектные решения АСУП. Подсистема управления технической подготовки производства. "Статистика", М., 1975.

14. Э.М.Дубровина, З.И.Мунджишвили. Система оперативного планирования и управления капитальным ремонтом. Сб. "Наука производству", "Мецниереба", Тбилиси, 1975.

15. М.А.Калоев, Т.В.Долидзе. Шкалирование на основе минимальных экспериментальных данных. Материалы I Конференции молодых ученых Закавказья по автоматическому управлению. Тбилиси, 1977.

16. М.А.Калоев, Т.В.Долидзе. Шкалирование качественных характеристик в исследовании операций. Сб. "Кибернетические системы и моделирование", Тбилиси, 1974.

17. В.Е.Жуковин, М.А.Калоев. Многокритериальное шкалирование качественных характеристик в системном анализе. Сообщения АН ГССР, т.79, № I, 1975.

18. М.А.Калоев, Л.В.Кизакян, С.В.Фролова. Выдвижение и подбор кадров методом многокритериального шкалирования.(См. настоящий сборник, стр. 336).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Мунджишвили З.И.

Оптимизация управления большими производственными системами с целью повышения эффективности их функционирования может быть достигнута различными средствами и путями, как, например: повышением уровня механизации и автоматизации технологических операций, совершенствованием системы стимулирования, автоматизацией информационных процессов и др.

Возникает задача формирования множества подцелей $G_i\ (i=\overline{1,n})$, выработки альтернативных траекторий достижения каждой подцели $g_{ij}(j=\overline{1,m})$ и выбора оптимального варианта действий /I/.

В данной работе рассматривается методика исследования и анализа задач объекта управления, а именно формирование множества подцелей $G_i\ (i=\overline{1,n})$, выработка альтернативных траекторий достижения каждой подцели.

Объектами исследования являются специалисты, занятые в области управления, и руководители служб. Целью исследования является выявление и анализ "знания" специалистов об объекте управления и разработка конкретных методов, путей и средств повышения эффективности системы управления.

Если рассматривать функции и задачи объекта управления с целью выявления перечня задач, подлежащих автоматизации, возникает вопрос о необходимости анализа методов и средств решения задач системой информационного, программного, правового, экономического обеспечения.

Исследование такого типа является интеллектуальным процессом, опирающимся на психоэмоциональный эффект. В процессе исследования функции и задач управления требуется выявление неожиданных ассоциаций, выработка аналогов решения конкретных процедур с помощью эвристик, создание благоприятных условий выдвижения новых идей и т.д.

Методом, позволяющим учитывать перечисленные требования и успешно решать поставленную задачу исследования и анализа функции и задач управления, является метод психоэвристического программирования /2,3/. Метод охватывает все средства и приемы известных в настоящее время методов управления интеллектуальной деятельностью (метод "мозговой атаки", программированное обучение, эвристическое программирование, синектика, коллективное обсуждение и др.) и дополнительно имеет ряд возможностей более полного использования интеллектуальных возможностей специалистов и руководителей служб объекта управления.

Метод психоэвристического программирования является таким методом управления интеллектуальной деятельностью, при котором решение проблемы управления коллективом осуществляется при специально созданной критической ситуации. Метод неформальный, немашинный.

В основе метода лежит эффект усиления продуктивного мышления личности или группы людей в управляемом процессе психоинтеллектуальной деятельности в условиях особо организационной, программируемой имитации проблемной ситуации естественного сознательного творческого процесса.

Управление интеллектуальной деятельностью достигается подбором группы участников процесса психоинтеллектуальной генерации, удовлетворяющей требованиям психологической совместимости, эмоционально-интеллектуального восприятия и понимания проблемы и задачи.

В процессе управления заметно активизируется интеллектуальная деятельность, и это называют эффектом психоинтеллектуальной генерации (ПИГ).

Метод психоэвристического программирования опирается на когерентную теорию мозга и исходит из его квантово-волновой природы /4/. Согласно этой теории процесс мышления рассматривается как совокупность сознательного и бессознательного мышления, которые определяются классической (" C ") и волновой (" Q ") структурами.

На абстрактном, математическом уровне взаимодействия " C " и " Q " структур процесс мышления автором работы академиком В.В.Чавчанидзе представляется следующим образом.

Рассмотрим совокупность n бинаризованных событий $\check{A} = \{\check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n\}$, где $\check{A}_i$ либо A_i, либо $\bar{A}_i$, так что $A_i \cup \bar{A}_i = \Omega$, т.е. равно событию "все" для любого $i \in I$. Схеме (A^c) можно сопоставить схему

$$(A^c) = \begin{pmatrix} \check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n \\ \check{p}_1, \check{p}_2, \dots, \check{p}_n \end{pmatrix},$$

где $\check{p}_i = \begin{cases} p_i \\ \bar{p}_i \end{cases}$, так что $p_i + \bar{p}_i = 1$; $(i \in I)$.

В общем случае $\check{p}_i$ может принять S различных значений при условии нормировки $p_i^1 + p_i^2 + \dots + p_i^S = 1$. Однако (A^c) не единственная и можно было бы рассмотреть (A^q).

$$(A^q) = \begin{pmatrix} \check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n \\ \check{\alpha}_1, \check{\alpha}_2, \dots, \check{\alpha}_n \end{pmatrix}$$

где $\check{\alpha}_i = \begin{cases} \alpha_i \\ \bar{\alpha}_i \end{cases}$, $\alpha_i, \bar{\alpha}_i$ - комплексные числа, но такие, что $\alpha_i \cdot \alpha_i^* + \bar{\alpha}_i \cdot \bar{\alpha}_i^* = 1$, которые автор называет дискретно-логическими амплитудами. Ясно, что если существует (A^c)

схема, тогда должна существовать и (A^{q*}). Доказывается, что подсознательное мышление описывается схемой A^q.

Доказывается, что внешний мир "поставляет" сенсорным органам последовательности событий $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ и представляет их на нейронных " C " и " Q " сетях. Доказывается, что "взаиморасположение, геометрия, микро- и макроархитектоника мозга таковы, что потоки сигналов, будучи однажды одновременно согласованными по фазе, далее, дивергируя и конвергируя в мозговых подструктурах, остаются таковыми, по крайней мере, до конца психофизиологических актов, связанных с мыслительной деятельностью" /4, стр.47/.

Показывается также, что и случайное усиление согласованных по фазе сигналов, идущих к определенным точкам мозга, создает эффект, который называется эффектом ПИГ.

Обязательными компонентами метода ПИГ являются: объект исследования - специалисты и руководители исследуемого объекта управления - предприятия, министерства и ведомства и др.; исследователи-разработчики АСУ; процедуризованные психоэвристические программы и технические средства переработки и отображения информации.

Группа исследователей формируется из следующих соображений.

Члены группы должны:

- удовлетворять требованиям психологической совместимости и эмоционально-интеллектуального восприятия;

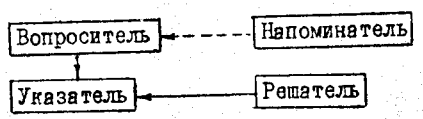
- понимать проблемы и задачи управления в общем и конкретно;

- быть специалистами высокого уровня по исследуемым проблемам, а именно по экономике, математике, машинной обра-

ботке данных, программированию, правовому обеспечению.

Особые требования предъявляются к руководителю исследования - лидеру. Лидер должен иметь широкий кругозор, достаточно глубоко должен знать изучаемые вопросы как в творческом, так и в практическом аспекте, должен быть коммуникабельным, уметь создавать непринужденную атмосферу и обеспечить эмоционально-психологическую совместимость между исследователями и исследуемыми (руководителями и специалистами объекта управления).

Процедуризованная психоэвристическая программа является одним из составных элементов исследования. Она составляется, исходя из поставленных целей исследования, заранее, до начала исследования. Она выступает в роли программы действия лидера и всей группы исследователей. Программа в общем имеет следующую структуру:



Вопросы лидера испытуемому фиксируются в "Вопросителе". Вопросы должны по существу отражать проблему, в нашем случае связанную с анализом оргструктуры, методов решения задач и др.

"Напоминатель" помогает лидеру путем приведения разных аналогичных примеров обеспечить ответ на поставленный вопрос.

В "Указателе" приводятся возможные действия лидера. Здесь определяются пути продолжения исследования.

"Решатель" показывает возможный результат исследования по данному вопросу. В качестве технических средств используются ЭВМ, дисплей, магнитофоны, диктофоны.

Естественно возникает вопрос: каково должно быть содержание психоэвристической программы исследования и анализа задач и функции управления объектом?

Как обычно, в решении многих задач участвуют специалисты и руководители, находящиеся на разных иерархических уровнях управления. Естественно, программы исследования должны охватывать их. Однако исследование не может быть осуществлено по отдельным задачам, должно быть обеспечено выявление всех задач, решаемых на данном иерархическом уровне управления. Ясно, что программа исследования системы управления данного иерархического уровня управления представляется множеством программ исследования функции управления.

Со своей стороны программа исследования определенной функции управления представляется объединением программ разных иерархических уровней.

Содержание каждой программы определяется поставленной целью. В нашем случае она в содержательном аспекте имеет следующий вид:

- анализ организационной структуры объекта управления;
- выявление и анализ методов и средств решения задач планирования и управления;
- анализ системы стимулирования и правового обеспечения;
- анализ уровня автоматизации информационных работ;
- выработка путей совершенствования.

По каждой задаче в программах исследования должно быть предусмотрено изучение:

- целей и назначения;
- периодичности решения;
- критериев и ограничений;

- информационного обеспечения;
- формирования путей совершенствования.

Исследование проходит в виде непринужденной беседы между исследователями и испытуемыми. Лидер регулирует участие членов исследовательской группы в эксперименте. Весь процесс эксперимента записывается на магнитофонную ленту и в дальнейшем обрабатывается с учетом поставленной цели. Результат обработки выдается в виде протокола.

При исследовании лидером используется метод встречных и наводящих вопросов. Совместно с испытуемым ставятся и обсуждаются те или иные вопросы. Очень часто с одним испытуемым обсуждается вопрос, поставленный другим, который по службе связан с первым, таким образом, что обсуждаемому не известен автор предложения. Дополнительно необходимо отметить, что при исследовании обязательно соблюдается конфиденциальность, о которой перед началом эксперимента сообщается испытуемому.

Ясно, что при использовании метода ПИГ анализ функции и задач объекта управления носит содержательный и системный характер. Результаты исследования используются не только для выявления задач, подлежащих автоматизации, но и являются конкретной программой совершенствования системы управления. Ниже на основе описанной методики приводится апробированная нами психоэвристическая программа исследования функции и задач системы управления предприятием.

Данная методика исследования функции и задач апробирована нами при создании АСУ разными объектами управления: Джезказганским горно-металлургическим комбинатом им. Саптаева, Тбилисским электровозостроительным заводом имени В.И. Ленина,

Министерством бытового обслуживания ГССР. По сравнению с существующими методами она позволяет в среднем в 5 раз сократить временные и трудовые затраты на создание АСУ, на этапы исследования и анализа существующей системы управления и разработки технического задания на создание АСУ.

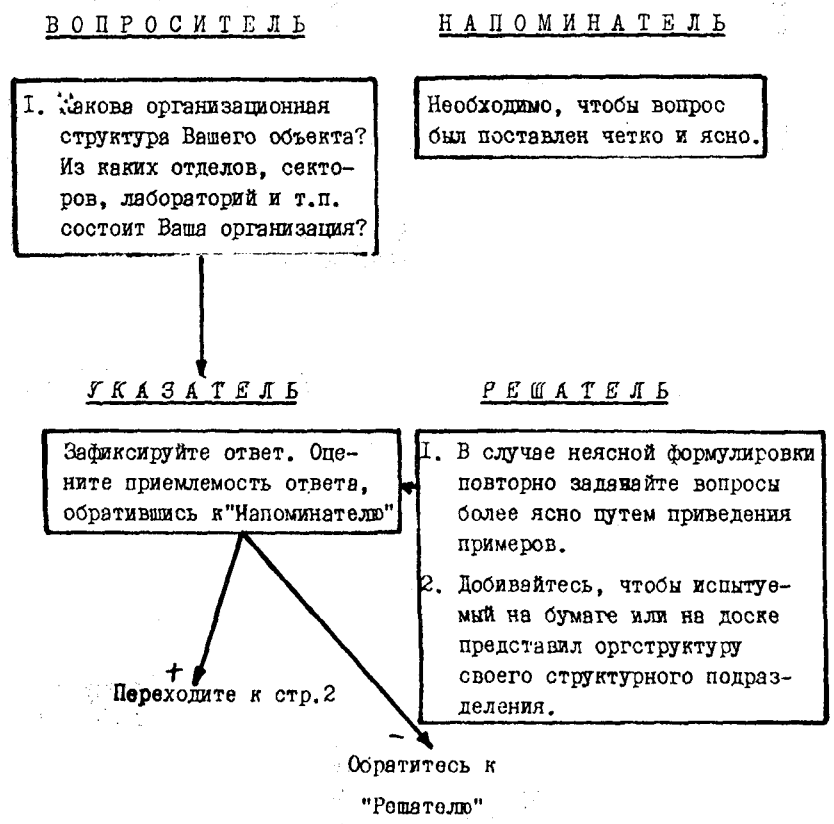
Ниже прилагается психоэвристическая программа исследования функциональной структуры предприятия.

Литература

1. З.И.Мунджишвили. Применение методов психоэвристического программирования при проектировании АСУ. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по АСУ, Тбилиси, 1976.
2. В.В.Чавчанидзе. Психоэвристическое программирование интеллектуальной деятельности человека в больших системах. Сообщения АН ГССР, т.52, № 3, 1968.
3. В.В.Чавчанидзе. Индуцирующее эвристическое программирование интеллектуальной деятельности. "Научная мысль", Вестник АПН, вып.II, 1968.
4. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Психоэвристическое программирование. Под ред. акад. АН ГССР В.В.Чавчанидзе. "Мецниереба",Тбилиси, 1974.

ПСИХОЭВРИСТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА

Исследование и анализ функций и задач управления предприятием



ВОПРОСИТЕЛЬ

Какова специальность людей, занятых в Вашем структурном подразделении?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Испытуемый должен понять, что вопрос носит чисто познавательный характер.

Объясните, что Вас интересует профессия, а не специальность, полученная в учебном заведении.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ, оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

+ Переходите к стр. 3

– Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. В случае неясной формулировки повторно, более ясно, путем приведения примеров задайте вопросы.
2. Добивайтесь, чтобы испытуемый на схеме оргструктуры отметил количество сотрудников с указанием их специальности.

ВОПРОСИТЕЛЬ

Какова цель и назначение Вашего структурного подразделения?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Необходимо четко сформулировать цель и назначение структурного подразделения. Испытуемый должен обосновать сформулированные им цель и назначение.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.4

– Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. В случае неясной формулировки задавайте вопросы. Предложите свой вариант.
2. Добивайтесь от испытуемого критической оценки Вашего варианта.
3. Помогите, чтобы он в процессе критики Вашего варианта сам сформулировал цель и назначение.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Какие задачи Вы решаете?
2. Перечислите все задачи, решаемые Вами при планировании, управлении, учете, контроле и др.

НАПОМИНАТЕЛЬ

Необходимо перечислить достаточно детализированно все задачи, которые решаются по основным функциям управления:

технико-технологической подготовке производства, планированию и управлению основным производством, бухгалтерскому учету и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.5

– Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. В случае неясной формулировки путем примеров постарайтесь составить полный список задач, решаемых по функциям управления.
2. Припомните существующие должностные инструкции, положения, в которых перечислены хотя бы в общем выполняемые функции.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Какой метод применяете при решении данной задачи?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Распространенными методами планирования являются нормативные, балансовые методы, анализ статистических данных. В задачах контроля, регулирования, анализа очень часто применяют метод сравнения. Задачи прогнозирования на практике находят свое место, в основном, при формировании оперативных производственных решений.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.6

– Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

Не старайтесь, чтобы испытуемый точно назвал применяемый метод, наоборот, добивайтесь, чтобы он как можно детальнее описал процесс решения.

ВОПРОСИТЕЛЬ

От каких структурных подразделений получаете исходные данные для решения данной задачи?

НАПОМИНАТЕЛЬ

При решении любой задачи в основном используются данные трех типов: первичные переменные, первичные постоянные, результативные.

К первичным данным относятся такие, которые получаются при непосредственном измерении, взвешивании и т.п. выполняемых производственных операциях. К первичным данным для исследуемого структурного подразделения относятся и все те данные, которые поступают из других структурных подразделений.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.7

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

Путем повторных вопросов добивайтесь от испытуемого перечисления всех (большинства) исходных данных.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. В какой форме получаете исходные данные?
2. Есть ли случаи запаздывания данных?
3. Поступают ли неточные данные? Как часто?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Исходные данные могут поступать как в документированных, так и недокументированных сообщениях. Периодичность их поступления обусловлена частотой решения задач. Данные могут передаваться разными средствами связи. На практике по разным объективным и субъективным причинам может иметь место запаздывание в поступлении данных, а также поступление неточных данных.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

+ Переходите к стр. 8

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

Добивайтесь от испытуемого исчерпывающего ответа. Помогите путем приведения примеров.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Что, по-вашему, является причиной поступления неоперативных, неточных данных?
2. Какие мероприятия необходимо провести для ликвидации создавшегося положения?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Поступление неоперативных, неточных данных может быть вызвано объективными и субъективными причинами.

В качестве объективных факторов могут быть: пропускная способность каналов связи, шумы во время передачи и др. Субъективные факторы имеют более сложный характер и могут быть обусловлены незаинтересованностью, бесконтрольностью и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

+ Переходите к стр. 9

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. Постарайтесь четко отделить объективные факторы от субъективных.
2. Повторно задавайте вопросы для выявление истинных субъективных причин.
3. Добивайтесь, чтобы испытуемый высказал свое мнение (и достаточно объективное) по ликвидации существующих причин.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Какие постоянные данные используются при решении задачи?
2. Какова форма представления данных?
3. Какова частота изменений постоянных данных?

НАПОМИНАТЕЛЬ

При решении любой задачи используются постоянные данные разного содержания и назначения: цены, расценки, нормативы затрат и др.

Значения этих данных меняются в связи с совершенствованием техники, изменением технологии, организации труда и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

+ Переходите к стр.10

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. Добивайтесь от испытуемого перечисления всех видов постоянных данных.
2. Путем повторных вопросов оцените частоту изменения значений перечисленных постоянных данных.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Как определяется значение нормативов?
2. Какой удельный вес имеют технически обоснованные нормативы?
3. Существуют ли нормативы по всем выполняемым работам, цены на продукцию, полуфабрикаты и др.?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Известно несколько методов определения нормативов: опытно-статистический, расчетный, опытный.

Одним из показателей уровня производительности труда может служить удельный вес технически обоснованных норм.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

РЕШАТЕЛЬ

В случае получения неточного ответа повторно задавайте вопросы до полного выяснения.

+ Переходите к стр.II

– Обратитесь к "Решателю"

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Какие из множества используемых данных имеют первостепенное значение?
2. Какие из используемых постоянных данных определяются на месте?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Значения тех данных, которые определены на месте, могут быть изменены. Это позволит разработать конкретные мероприятия по совершенствованию нормативного хозяйства.
При разработке такого мероприятия, естественно, в первую очередь должно быть осуществлено совершенствование тех нормативов, которые имеют первостепенное значение и влияют на результаты решения задач.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

РЕШАТЕЛЬ

Путем повторных вопросов определите узловые данные.

+ Переходите к стр.I2

– Обратитесь к "Решателю"

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Каким структурным подразделениям передаются результаты решения задачи?
2. С какой периодичностью?
3. Какова форма передачи данных?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Результаты решения задачи могут быть использованы в данном структурном подразделении или переданы другим специалистам или структурным подразделениям.

Как правило, периодичность решения задачи не совпадает с периодичностью передачи результативных данных.

Результаты решения могут передаваться в виде документа, макетированных карт и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

+ Переходите к стр.13

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. Обратите внимание на логику суждения испытуемого.
2. Добивайтесь от испытуемого однозначных ответов на поставленные вопросы.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. С какой целью должны быть использованы результаты решения задачи?
2. Назначение полученных результатов?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Целью вопроса является выявление так называемых "скрытых" целей, уточнение истинной цели и назначения задачи.

УКАЗАТЕЛЬ

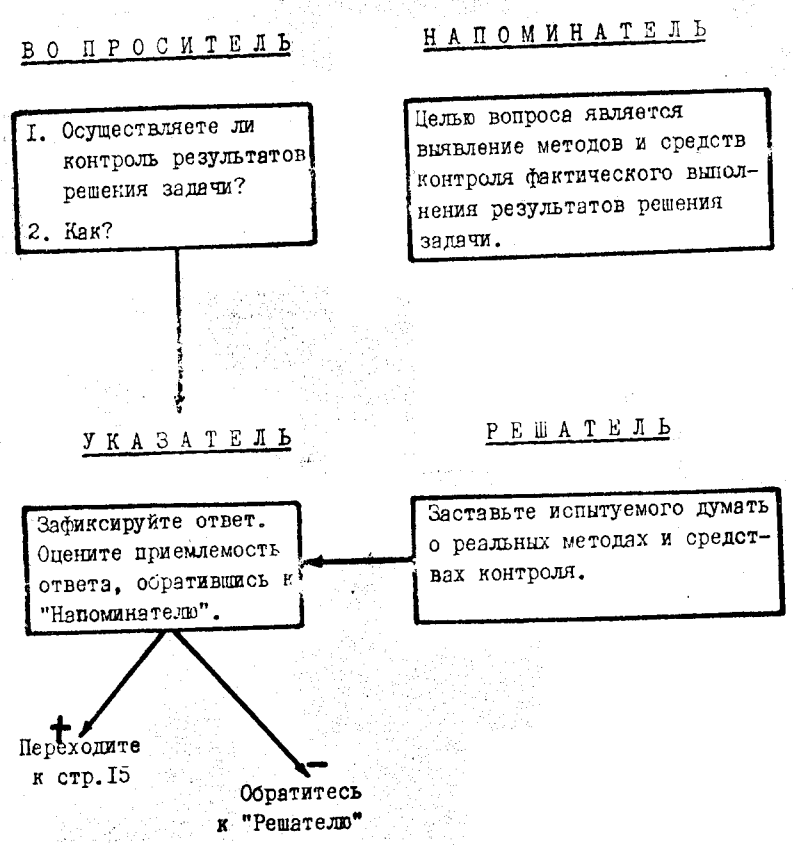
Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю"

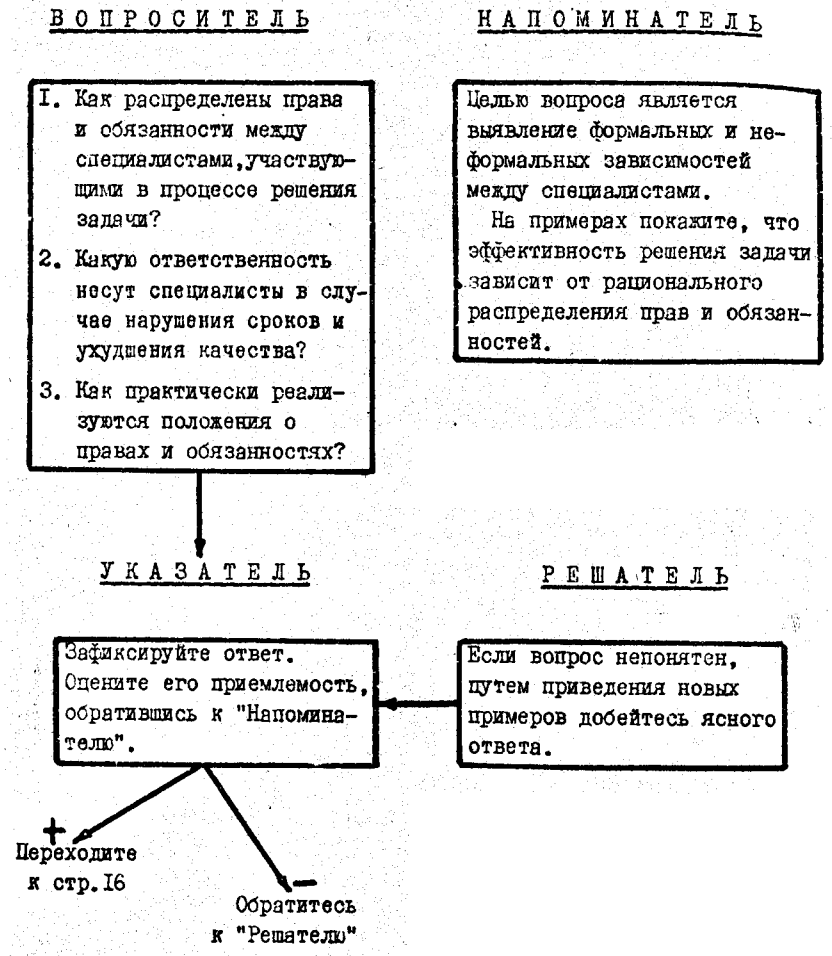
+ Переходите к стр.14

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. Обратите внимание на логику мышления испытуемого.


ВОПРОСИТЕЛЬ
НАПОМИНАТЕЛЬ
I. Осуществляете ли контроль результатов решения задачи?
2. Как?
Целью вопроса является выявление методов и средств контроля фактического выполнения результатов решения задачи.
УКАЗАТЕЛЬ
РЕШАТЕЛЬ
Зафиксируйте ответ. Оцените приемлемость ответа, обратившись к "Напоминателю".
Заставьте испытуемого думать о реальных методах и средствах контроля.
+
Переходите к стр.I5
–
Обратитесь к "Решателю"


ВОПРОСИТЕЛЬ
НАПОМИНАТЕЛЬ
I. Как распределены права и обязанности между специалистами, участвующими в процессе решения задачи?
2. Какую ответственность несут специалисты в случае нарушения сроков и ухудшения качества?
3. Как практически реализуются положения о правах и обязанностях?
Целью вопроса является выявление формальных и неформальных зависимостей между специалистами.
На примерах покажите, что эффективность решения задачи зависит от рационального распределения прав и обязанностей.
УКАЗАТЕЛЬ
РЕШАТЕЛЬ
Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".
Если вопрос непонятен, путем приведения новых примеров добейтесь ясного ответа.
+
Переходите к стр.I6
–
Обратитесь к "Решателю"

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Какие формы стимулирования используются?
2. Каков механизм используемых форм стимулирования?
3. Какова их эффективность?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Примеры форм стимулирования:
- моральная,
- материальная.

Примеры методов стимулирования:
- система бездефектного изготовления продукции;
- система автомобильного завода г.Тольятти;
- Щёкинская система и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.17

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

С помощью примеров, данных в "Напоминателе", добейтесь полного ответа.

ВОПРОСИТЕЛЬ

Какие оргтехмероприятия, по Вашему мнению, необходимо провести с целью повышения эффективности?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Необходимо ясно зафиксировать предложения испытуемого, касающиеся:
- совершенствования технической базы,
- улучшения оргструктуры,
- реорганизации кадров,
- повышения профессиональной квалификации и др.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.18

− Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

1. Повторными вопросами добивайтесь истинности ответов.
2. С целью достижения объективности на поставленный вопрос ответьте ответом другого специалиста, заранее оспаривая его.

Подчеркните, что это Ваше предложение. А после принятия решения сообщите ему автора предложения и в случае необходимости осуществите повторное обсуждение.

ВОПРОСИТЕЛЬ

I. Изменится ли и как качество и результаты Вашей задачи в случае изменения форм стимулирования?

2. Каковы будут Ваши действия при изменении ситуации в процессе решения задачи?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Вопрос ставится с целью натолкнуть испытуемого на мысль о критической оценке существующей системы стимулирования и о путях ее совершенствования.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.I9

– обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

С помощью перекрестных вопросов опишите поведение испытуемого в измененной ситуации.

ВОПРОСИТЕЛЬ

I. Какова эффективность существующей системы контроля?

2. Какие мероприятия необходимо осуществить для повышения эффективности контроля?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Цель вопроса в выявлении конкретных путей улучшения контроля выполнения заданий.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".

+ Переходите к стр.20

– Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

В случае неясной формулировки с помощью примеров добейтесь от испытуемого ясных ответов.

ВОПРОСИТЕЛЬ

1. Автоматизирована ли какая-либо задача?
2. Какова эффективность автоматизации?
3. Что необходимо сделать для улучшения системы автоматизации информационных работ?
4. Что Вы хотели бы получить?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Цель вопроса в выявлении отрицательных и положительных сторон автоматизации информационных работ.

УКАЗАТЕЛЬ

Зафиксируйте ответ. Оцените его приемлемость, обратившись к "Напоминателю".

Переходите к стр.21

Обратитесь к "Решателю"

РЕШАТЕЛЬ

Приведением примеров добейтесь ясного ответа.

ОПРОСИТЕЛЬ

1. Имеется ли, по-вашему, возможность применить ЭВМ и кибернетические методы?
2. Что это даст?

НАПОМИНАТЕЛЬ

Цель вопроса, в определенной степени, преодолеть психологический барьер.
Испытуемый должен почувствовать себя участником разработок. Он должен показать источники повышения эффективности.

Процесс исследования заканчивается предварительным ознакомлением с результатами эксперимента.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Хуцишвили Н.Г.

Задача нелинейного программирования заключается в отыскании условного экстремума нелинейной функции многих переменных, когда ограничения, накладываемые на переменные, имеют вид нелинейных равенств и неравенств.

Математически эту задачу можно записать так: найти значения неизвестных $x_1, x_2, \dots, x_n$, удовлетворяющие условиям

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$
$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$
$$\dots\dots\dots$$
$$f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$
$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

и обращающие в максимум (или минимум) нелинейную функцию.

Нелинейные задачи, в которых оптимизируемая функция выпукла вверх или вниз, а ограничения линейны, сравнительно просто сводятся к схеме линейного программирования. С любой заданной точностью кривая может быть аппроксимирована ломанной, каждое звено которой представляет линейную функцию от вспомогательного аргумента. Существуют также попытки свести нелинейные задачи с невыпуклыми функциями к схеме линейного программирования. Линеаризация нелинейных ограничений или оптимизируемой функции достигается при помощи особого преобразования задачи. Последнее позволяет рассматривать вместо исходных переменных другие переменные, которые могут принимать только два значения - I и 0.

Применяется точечное представление функций, что очень типично для экономических систем. Во многих экономических задачах непрерывные изменения аргумента и функции в заданном интервале невозможны. Если в такую задачу введены все точки, в которых аргумент и функция могут иметь реальные значения, то решение, полученное данным методом, будет совершенно точным./I/

Как и в линейных задачах, дело существенно упрощается, если ограничения в нелинейных задачах обладают той же спецификой, что и в задачах транспортного типа.

В условии транспортной задачи линейного программирования предполагается, что стоимость перевозки $\varphi_{ij}(x)$ по *любому маршруту пропорциональна количеству единиц перевозимого* продукта $(\varphi_{ij}(x) = c_{ij})$. Это обуславливает линейность минимизируемой функции. На практике такое предположение часто не имеет места. Так, в ряде случаев удельные затраты c_{ij} уменьшаются с увеличением общего количества продукта x, перевозимого по данному маршруту.

В других случаях тариф за перевозку повышается с увеличением количества перевозимого продукта. Бывает и так, что дополнительная плата взимается за сам факт перевозки. В частном случае стоимость перевозки может вообще не зависеть от количества перевозимого продукта.

Все рассмотренные случаи укладываются в следующую модель: требуется найти совокупность чисел $\{x_{ij}\}$ - план перевозок, удовлетворяющую линейным ограничениям

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \ , \quad j = 1, 2, \dots, n;$$
$$x_{ij} \geq 0$$

и обращающую в минимум функцию

$$\Phi = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \varphi_{ij}(x_{ij}) \ ,$$

где $\varphi_{ij}(x)$ - заданные нелинейные функции одного аргумента.

Эта задача носит название нелинейной транспортной задачи.

Типичным примером нелинейных задач транспортного типа является задача о размещении производства. Имеются пункты потребления некоторого однородного продукта и пункты его производства. Для каждого потребителя известен объем потребления. Пункты производства подразделяются на две категории: пункты с известным объемом производства и пункты, объем производства которых необходимо определить. Для каждого пункта второй группы известна зависимость стоимости производства от объема производства. Требуется найти такие объемы производства и перевозок по транспортной сети, при которых суммарные расходы на производство и транспортировку наименьшие.

Сопоставим каждому пункту реальной транспортной сети вершину графа, а каждому направлению движения по дороге между соседними пунктами - дугу со стрелкой, отвечающей направлению движения.

Пусть $\mathcal{Y} = \{1, 2, \dots, n\}$ - множество вершин, а $\mathcal{U}$ - множество дуг. Обозначим через a_i и b_i соответственно объем производства и объем потребления вершины i (если i не производит, то $a_i = 0$, если же не потребляет, то $b_i = 0$).

Положим $d_i = a_i - b_i$. Величина d_i представляет интенсивность вершины i. Множество вершин, соответствующих пунктам производства второй группы, обозначим через $\mathcal{A}$. Пусть $f_i(a)$ $(i \in \mathcal{A})$ - зависимость стоимости производства от объема производства a, $c_{ij}(x)$ - зависимость стоимости перевозки от объема перевозки x, $(i,j) \in \mathcal{U}$. Для вершин $i \in \mathcal{A}$, $b_i = 0$, поэтому $a_i = d_i$.

Неизвестные a_i должны быть таковы, чтобы

$$\sum_{i=1}^{n} d_i = 0$$

и чтобы существовало неотрицательное решение системы уравнений

$$\sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = d_i \ , \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

При этих условиях требуется минимизировать функционал

$$\sum_{(i,j) \in \mathcal{U}} c_{ij}(x_{ij}) + \sum_{i \in \mathcal{A}} f_i(d_i).$$

Эту задачу можно свести к нелинейной задаче о потоке. Для этого превратим вершины $i \in \mathcal{A}$ в нейтральные, т.е. положим их интенсивность равной нулю, а для компенсации введем фиктивный источник $S = 0$ с интенсивностью

$$d_0 = -\sum_{i \in \mathcal{A}} d_i \ .$$

Фиктивный источник соединим с каждой вершиной $i \in \mathcal{A}$ дугой $(0, i)$ и положим $c_{0i}(x) = f_i(x)$. Полученный граф обозначим $(\mathcal{Y}, \mathcal{U})$.

Задача о размещении, таким образом, сводится к следующей: определить поток, для которого

$$\sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = d_i' \ , \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где $d_0' = d_0$, $d_i' = d_i$, при $i \notin \mathcal{A}$,
$d_i' = 0$, при $i \in \mathcal{A}$.

Функционал $\sum_{i,j \in \mathcal{A}} c_{ij}(x_{ij})$ должен принимать наименьшее значение.

В оптимальном потоке, являющемся решением этой задачи, величины x_{oi} определяют неизвестные интенсивности (объем производства) вершин $i \in \mathcal{A}$. Наиболее изученным является случай, когда функции $c_{ij}(\cdot)$ выпуклы вниз /2/, т.е. когда для произвольных неотрицательных чисел x_1 и x_2 справедливо неравенство:

$$c_{ij}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \le \lambda c_{ij}(x_1) + (1-\lambda) c_{ij}(x_2), \quad 0 \le \lambda \le 1.$$

Обозначим через $c^+_{ij}(x)$ правую производную функции $c_{ij}(x)$, а через $c^-_{ij}(x)$ - левую производную.

Известно, что для выпуклых вниз функций левая и правая производные существуют в каждой точке, причем они неубывающие, непрерывны соответственно слева и справа и удовлетворяют соотношениям

$$c^-_{ij}(x) \le c^+_{ij}(x),$$

$$\theta c^+_{ij}(x-\theta) \ge c_{ij}(x) - c_{ij}(x-\theta) \ge \theta c^-_{ij}(x)$$

для произвольного $\theta > 0$. При этом множество значений x, для которых $c^+_{ij}(x) \ne c^-_{ij}(x)$, конечно или счетно.

Значение x, для которого выполняется данное неравенство, называется критическим для потока x_{ij}. Из выпуклости функций $c_{ij}(x)$ следует, что эти функции должны быть непрерывными во всей области определения за исключением, быть может, граничных. Будем предполагать, что функции $c_{ij}(x)$ непрерывны в граничной точке $x = 0$. Рассматриваемый нами в статье метод представляет собой обобщение венгерского метода для нелинейной сетевой задачи. Будем рассматривать лишь такие функции $c_{ij}(x)$, для которых в любом ограниченном интервале $[0, M]$ множество критических значений конечно.

Метод заключается в выборе некоторого исходного потока и в последовательном улучшении его до тех пор, пока не будет получен оптимальный поток.

Рассмотрим нелинейную трехиндексную транспортную задачу с аксиальными суммами

$$\sum_{i,j,k} \varphi_{ijk}(x_{ijk}) = \min \qquad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j,k} x_{ijk} = a_i; \quad \sum_{i,k} x_{ijk} = b_j; \quad \sum_{i,j} x_{ijk} = c_k,$$
$$x_{ijk} \ge 0, \quad i = \overline{1,m}, \quad j = \overline{1,n}, \quad k = \overline{1,l}, \qquad (2)$$

где $\varphi_{ijk}(x_{ijk})$ - выпуклые вниз функции, a_i, b_j, c_k - целые положительные числа, удовлетворяющие соотношению

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j = \sum_k c_k. \qquad (3)$$

Случай, когда стоимость перевозки $\varphi_{ijk}(x_{ijk})$ пропорциональна количеству единиц перевозимого продукта ($d_{ijk} = \varphi_{ijk}(x_{ijk})$), рассмотрен в работе /3/.

Отнесем данной задаче соответственно транспортную сеть G и сведем эту задачу к определению максимального потока в ней. Обозначим соответственно через $\varphi^+_{ijk}(x)$ и $\varphi^-_{ijk}(x)$ правую и левую производные. Значение x_{ijk}, для которого выполняется неравенство $\varphi^+_{ijk}(x_{ijk}) = \varphi^-_{ijk}(x_{ijk})$, назовем критическим для потока.

Предлагаемый метод решения задачи (1) - (2) заключается в выборе некоторого исходного потока в сети G' и в последовательном улучшении его до максимального. Транспортная сеть G' получается из основной сети G вычеркиванием дуг, соответствующих критическим значениям x_{ijk}, т.е. если

$$\mathcal{U}' = \{i,j,k \,/\, \varphi^+_{ijk}(x) = \varphi^-_{ijk}(x)\}, \text{ то } G' = (\mathcal{U}, \mathcal{U}').$$

Выбираем некоторый исходный поток (полный) в сети G', увеличиваем его до максимального, и если полученный поток насыщает выходные дуги, то он является искомым оптимальным

потоком. Если же этот поток не насыщает выходных дуг, то, определяя новый бюджет γ, определяем подграф G_{γ}', ищем в нем оптимальный поток до тех пор, пока не получим максимальный поток.

Литература

1. Зейчик М.Л. В сб. "Экономика и математические методы", № 2, 1966.
2. Трикус Е.Б. В сб. "Оптимальные системы, статистические методы". "Наука", 1967.
3. Хупишвили Н.Г. В сб. "Труды Института прикладной математики". ТГУ, т.I, 1969.

ГЛАВА IУ

ВОПРОСЫ КОДИРОВАНИЯ

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ AN- КОДОВ

Цискаридзе Д.В.

В последнее время все большее распространение получают сложные информационные системы, под которыми будем понимать системы с памятью или комбинационного типа, осуществляющие переработку дискретной информации.

При решении задач проектирования и разработки крупных комплексов переработки информации, таких, как автоматизированные системы управления, системы массового обслуживания, сбора информации с летательных аппаратов и др., особо важным становится требование к достоверности потока передаваемой и обрабатываемой информации. Методы решения этих задач различны: от дублирования до применения теории кодирования.

В данной статье рассматриваются арифметические коды, которые могут быть применены как для контроля выполнения арифметических операций, так и для передачи данных.

Пусть B - нечетное число вида $B=(2^{\tau}-1)P$ (P - любое простое число, кроме чисел Мерсена) и $e(2,B)$ - наименьшее целое число t, такое, что $B/2^{t}-1$. Рассмотрим циклический AN код, генератор которого

$$A=(2^{e(2,B)}-1)/B, \tag{I}$$

$n=e(2,B)$ - длина кода.

Рассмотрим весовую структуру кода (I). Справедливы следующие леммы:

Лемма I.

Пусть $HOD\{t,e(2,P)\}=\tau$, $t\not\equiv 0(mod\, e(2,P))$ при этом $t\cdot e(2,P)/\tau=e(2,B)$, тогда для любого N, $N\in[1,B-1]$, $N\not\equiv 0(mod\, P)$ арифметический вес кодового вектора AN: $W(AN)$ ограничен следующей величиной:

$$W(AN)\geqslant\frac{t}{2\tau}d(A_P), \tag{2}$$

где $A_P=(2^{e(2,P)}-1)/P$, $d(A_P)$ - кодовое расстояние кода с генератором A_P.

Доказательство.

Предположим, что $K=AN$, $m=K(2^{t}-1)$, тогда $W(m)\leq 2W(K)$.

Пусть далее:

$$N_1\equiv N(mod\, P), \quad \text{где } 0<N_1<P$$

$$m_1=AN_1(2^{t}-1)=\Big(\sum_{i=1}^{t/\tau}2^{(t/\tau-i)e(2,P)}\Big)N_1\cdot A_P$$

$$m=AN(2^{t}-1)\equiv m_1(mod\, 2^{n}-1,$$

тогда

$$W(m_1)\geqslant\frac{t}{\tau}d(A_P),\ 2W(AN)\geqslant\frac{t}{\tau}d(A_P). \tag{3}$$

Аналогично доказывается лемма 2.

Лемма 2.

Пусть $HOD\{t,e(2,P)\}=\tau$, $t\equiv 0\ (mod\, e(2,P))$, при этом $e(2,B)=t\cdot P$, тогда для любого N, $N\in[1,B-1]$, $N\not\equiv 0(mod\, P)$ арифметический вес кодового вектора AN: $W(AN)$ ограничен следующей величиной:

$$W(AN)\geqslant(\beta P/2)d(A_P), \tag{4}$$

где $\beta=t/e(2,P)$

Леммы I и 2 дают возможность доказать следующие теоремы:

Теорема I.

Если $HOD\{t,e(2,P)\}=\tau$, $t\equiv 0(mod\, e(2,P))$, $t>e(2,P)$, то код, порожденный генератором $A=(2^{t\cdot e(2,P)/\tau}-1)/(2^{t}-1)P$, где P - любое простое число, кроме чисел Мерсена, имеет минимальное расстояние

$$d=\frac{e(2,P)}{\tau}. \tag{5}$$

Доказательство.

Для $1\leq N<B$, $N\not\equiv 0(mod\, P)$, в силу леммы 2, справедливо

$$W(AN) \geqslant t/2\tau \, d(A_P).$$

При $N^* = P$ имеем $W(AN^*) = \frac{e(2,P)}{\tau}$, следовательно, кодовое расстояние d ограничено снизу минимальным числом из $e(2,P)/\tau$ и $\frac{t}{2\tau} d(A_P)$.

Рассмотрим величину $\frac{t}{2\tau} d(A_P)$. Так как $P \neq 2^{e(2,P)} - 1$, то $d(A_P) \geqslant 2$ и $(t/2\tau)\, d(A_P) \geqslant \frac{t}{\tau}$.

Выберем минимальное значение из $\frac{e(2,P)}{\tau}$ и $\frac{t}{\tau}$, учитывая тот факт, что $t > e(2,P)$. Мы имеем $W(AN^{*d}) \leq W(AN)$, тогда $d = \frac{e(2,P)}{\tau}$.

Условие $t > e(2,P)$ существенно ограничивает класс рассматриваемых кодов, но для простых чисел P, если $2^{P-1} \equiv 1 (\mathrm{mod}\, P)$ и $2^{\frac{P-1}{2}} \equiv 1 (\mathrm{mod}\, P)$, $2 \nmid e(2,P)$ и $e(2,P)$ и t можно связать следующим условием: $6 \leq t < e(2,P)$, тогда мы сможем доказать следующую теорему.

Т е о р е м а 2.

Если $HOD\{t, e(2,P)\} = \tau$, $t \not\equiv 0 (\mathrm{mod}\, e(2,P))$, $6 \leq t < e(2,P)$ $e(2,P) = \begin{cases} P-1 \\ \frac{P-1}{2} \end{cases}$, то код, порожденный генератором $A = (2^{\frac{t \cdot e(2,P)}{\tau}} - 1)/(2^t - 1)P$, имеет

$$d = \frac{e(2,P)}{\tau}. \qquad (6)$$

Д о к а з а т е л ь с т в о.

В силу леммы 2 имеем

$$W(AN) \geqslant \frac{t}{2\tau} d(A_P).$$

Рассмотрим величину $(t/2\tau) \cdot d(A_P)$.

I. $P \equiv 1 (\mathrm{mod}\, 3)$

а) $e(2,P) = P-1$

$$(t/2\tau)\, d(A_P) = \frac{t \cdot e(2,P)}{6\tau}$$

при $t \geqslant 6$ $d = e(2,P)/\tau$

б) $e(2,P) = P-1/2$, $2 \nmid e(2,P)$

$$(t/2\tau)\, d(A_P) = t \cdot e(2,P)/6\tau$$

при $t \geqslant 6$, $d = e(2,P)/\tau$.

2. $P \equiv 2 (\mathrm{mod}\, 3)$

а) $e(2,P) = P-1$

$$(t/\tau)\, d(A_P) = (t/2\tau)(e(2,P) + 2)$$

при $t \geqslant 6$, $d = e(2,P)/\tau$

б) $e(2,P) = (P-1)/2$, $2 \nmid e(2,P)$

$$(t/2\tau)\, d(A_P) = \frac{t}{6\tau}(e(2,P) + 1)$$

при $t \geqslant 6$, $d = e(2,P)/\tau$.

Т е о р е м а 3.

Если $HOD\{t, e(2,P)\} = \tau$, $t \equiv 0 (\mathrm{mod}\, e(2,P))$, то код, порожденный генератором $A = (2^{t \cdot P} - 1)/(2^t - 1)P$, где P - любое простое число, кроме чисел Мерсена, имеет минимальное расстояние $d = P$.

Д о к а з а т е л ь с т в о.

В силу леммы 2 для $1 \leq N < B$, $N \equiv 0 (\mathrm{mod}\, P)$ справедливо $W(AN) \geqslant (\beta P/2)\, d(A_P)$.

При $N^* = P$ имеем

$$AN^* = \sum_{i=1}^{P} 2^{(P-i)t}; \quad W(AN^*) = P.$$

Рассмотрим величину $(\beta P)/2\, d(A_P)$. Так как $d(A_P) \geqslant 2$, то $(\beta P/2)\, d(A_P) \geqslant \beta P$ и $d = P$.

В таблице приведены некоторые параметры рассматриваемых кодов.

N	B	n	$e(2,P)$	τ	$R(B)$	$C(B)$	d
I	2^{14}-I	28	28	I4	0.7	9	2
2	2^{13}-I	39	39	I3	0.5	I9	3
3	2^{9}-I	36	I2	3	0.3	23	4
4	$(2^{19}$-I) I9I	95	95	I9	0.3	68	5
5	$(2^{10}$-I) 6I	60	60	I0	0.28	44	6
6	$(2^{12}$-I) I7	24	8	4	0.5	7	2
7	$(2^{68}$-I) I03	204	5I	I7	0.3	I29	3

N	B	$\varkappa$	$e(2,p)$	τ	$R(B)$	$C(R)$	d
8	$(2^{20}-1)$ 257	80	16	4	0.3	51	4
9	$(2^{30}-1)$ 1801	150	25	5	0.2	108	5
10	$(2^{21}-1)$ 19	126	18	3	0.2	100	6

Рассмотренные коды с генератором $A = (2^{\frac{t\cdot e(2,p)}{\tau}} - 1)/(2^t-1)p$ являются подкодами кода с $B = (2^t-1)(2^{e(2,p)}-1)$. Эти коды можно декодировать по мажоритарной схеме в два шага.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Ананиашвили Г.Г., Варшавский В.Д., Цискаридзе Ц.В.

На современном этапе развития вычислительной техники с особой остротой ставится вопрос о необходимости существенного улучшения наиболее важных характеристик ЭВМ. Так, например, для устройства памяти большой емкости, даже при относительно высокой надежности отдельных ее элементов, надежность системы в целом может быть недостаточной. Поэтому в подобных ситуациях приходится прибегать к специальным мерам для достижения требуемого уровня среднего времени между отказами.

Одним из эффективных средств повышения надежности хранения информации в ЗУ является введение аппаратурной избыточности путем использования кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки. Такая система коррекции неисправностей требует соответствующей организации памяти, что ведет к усложнению структуры ЗУ, введению дополнительных элементов.

Избыточная информация выдается специальным генератором в виде контрольного кода на основе исходных последовательностей. При считывании из памяти вновь генерируется контрольный код, который сравнивается с контрольным кодом, полученным перед записью. Несовпадение этих кодов является признаком ошибки, причем соответствующие разряды инвертируются.

В качестве корректирующих кодов в таких системах могут использоваться коды Хэмминга, перестановочные коды, арифметические коды, коды Рида-Маллера [1 - 3]. Они обладают различной избыточностью, корректирующей способностью и сложностью практической реализации процессов кодирования и декодирования.

Поэтому выбор корректирующего кода предопределяется кон-

кратной статистикой ошибок, допущениями в отношении аппаратурной избыточности и приемлемого уровня быстродействия проектируемой системы.

Анализ периодики подтверждает преимущества приложения модификаций кодов Хэмминга по сравнению с другими кодами, исправляющими одиночные и обнаруживающими многократные ошибки в ЗУ. При этом более целесообразным представляется их реализация на средних и больших интегральных схемах.

Ниже приводится таблица различных значений длины кодового слова n и числа избыточных символов r для кодов Хэмминга, корректирующих все одиночные ошибки.

Таблица I

n	r	$]r[$
4 - 7	3	3
8	3,678	4
9	3,752	4
I0-II	3,830	4
I2-I5	4	4
I6-I7	4,678	5
I8-I9	4,752	5
20-23	4,830	5
32-35	5,678	6
24-3I	5	5
36-39	5,752	6
40-47	5,830	6
48-63	6	6
64-7I	6,678	7

Методы аппаратурной реализации корректирующих кодов Хэмминга

I. Реализация кодов Хэмминга с помощью регистра сдвига

Будем считать, что код Хэмминга имеет систематический вид, т.е. кодовый вектор состоит из K информационных символов, за которыми следуют $r = n - K$ проверочных знаков.

Пусть $f(x)$ - многочлен, у которого в качестве k коэффициентов при слагаемых $x^{n-1}, x^{n-2}, \ldots, x^{n-k}$ выбраны произвольные символы, а коэффициенты при степенях x меньше $n-k$ равны 0. Тогда

$$f(x) = p(x)q(x) + r(x),$$

причем $p(x)$ называется порождающим многочленом кода, а остаток $r(x)$ имеет степень меньше $n-k$. Следовательно, $\{f(x) - r(x)\}$ - кодовый вектор, так как в этом полиноме коэффициенты при членах высшего порядка являются информационными символами, а коэффициенты многочлена $r(x)$ - проверочными. Таким образом, задача кодирования сводится к нахождению способа вычисления остатка от деления $f(x)$ на $p(x)$. Тем самым кодер устройства представится в виде r-разрядного регистра сдвига, на вход которого подается k исходных (информационных) символов. После k сдвигов, совокупность $n-k$ символов, находящихся в этот момент времени в указанном регистре, будет совпадать с остатком $r(x)$, т.е. с совокупностью проверочных разрядов, взятых с обратным знаком.

Работа декодирующего устройства (рис.I) заключается в следующем.

Принимаемая последовательность одновременно поступает на

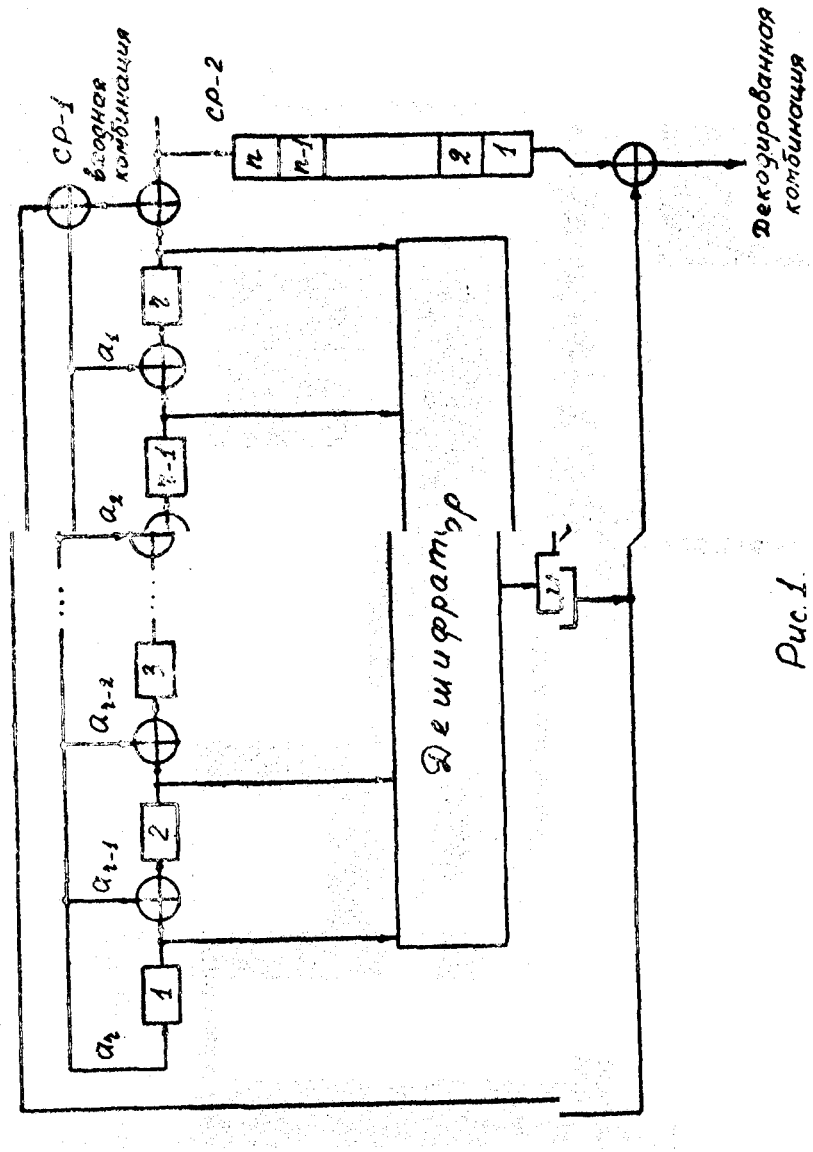


Рис. 1

сдвигающие регистры СР-I и СР-2. После осуществления тактов содержание СР-I равно результату деления принятой комбинации на характеристический полином, а в СР-2 будет находиться сама принятая последовательность.

Если результат деления не совпадает с допускаемой ошибкой (имеющей искажение в первой позиции), то производятся последовательные сдвиги в регистрах СР-I и СР-2 до достижения такого совпадения.

После этого на выходе дешифратора появляется "I" и в следующий такт происходит коррекция соответствующего символа на выходе СР-2. Одновременно корректируется синдром, записанный в регистре РС-I. Процесс продолжается до выдачи на выходе декодера всей принятой последовательности с соответствующей коррекцией искажений. Схема совпадения "И" служит для предотвращения ложной коррекции.

Рассмотренный алгоритм относится к классу оптимально декодируемых, однако их реализация в ряде случаев приводит к превышению вероятности появления сбоев или отказов в аппаратуре над вероятностью появления некорректируемой ошибки.

В этой связи особый интерес представляют мажоритарные способы декодирования циклических линейных кодов, относящихся к неоптимальным алгоритмам декодирования.

2. Реализация кодов Хэмминга с использованием контрольных проверок

Пусть H - проверочная матрица кода Хэмминга над $GF(2^m)$, тогда для всех кодовых слов a выполняется равенство:

$$a H^T = 0,$$

т.е. скалярное произведение любого кодового вектора на строки матрицы H задает контрольное соотношение - проверку по четности для символов $\alpha_0, \alpha_1, \ldots, \alpha_{n-1}$

$$\sum_{j=0}^{n-1} h_{ij}\alpha_j \equiv 0 \pmod 2, \quad i = \overline{1,r}.$$

Указанные соотношения назовем контрольными проверками и для $0 \le j \le n-1$ выберем такие, в которых $h_{ij} \ne 0$; $i = \overline{1,r}$, т.е. такие, в которые входит один и тот же символ

$$\alpha_j = h_{ij}^{-1}(h_{i0}\alpha_0 + h_{i1}\alpha_1 + \cdots + h_{in-1}\alpha_{n-1}).$$

На основе вышеизложенного можно построить специальный класс проверок, которые удовлетворяют требованиям, позволяющим осуществить пороговое декодирование кода Хэмминга:

а) в каждую проверку входит один и тот же символ, например α_j ;

б) любой символ α_i , $i \ne j$, входит хотя бы в одну, но не более чем в $r-1$ проверок.

Контрольные проверки по H -матрице строятся следующим образом. Первая строка m -го порядка определяет первую проверку относительно первого символа; сумма первой и второй строк определяет вторую проверку относительно первого символа и т.д., m -ая проверка будет суммой m -ой и первой строк.

Схема порогового декодирования кодов Хэмминга представлена на рис.2. Рассмотрим вкратце ее работу. Результаты прове-

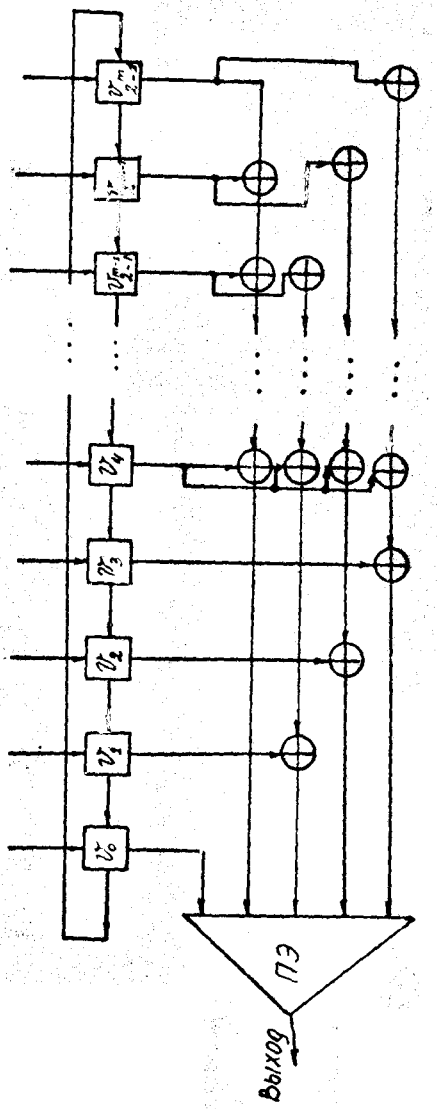


Рис. 2.

рок относительно символа a_0 поступают в ПЭ (пороговый элемент). При совпадении всех проверок на выходе ПЭ будет истинное значение проверяемого символа. Если порог не достигается, то считается, что первый символ не искажен. Затем производится циклический сдвиг кодового вектора на один разряд влево и повторяется декодирование уже для второго символа и т.д. Через n тактов декодирование заканчивается. В данной схеме важным узлом является пороговый элемент (рис.3). Пороговый элемент реализует функцию $F(x_1, x_2, \ldots, x_m)$, если существует ряд таких действительных чисел $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_m$ и T, что

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_m) = \begin{cases} 1, \sum_{i=1}^{m} \omega_i x_i \geq T \\ 0, \sum_{i=1}^{m} \omega_i x_i < T \end{cases}.$$

Для нашего случая $\omega_i = 1$, $T = m$.

Декодирование осуществляется параллельно-последовательным способом.

Предложенную схему можно видоизменить. Произвольное проверочное соотношение кода Хэмминга (2^m-1, 2^m-1-m) содержит серию из нулей, имеющую длину не более чем $m-1$. Функциональная схема имеет вид, представленный на рис.4. Процедура декодирования выглядит следующим образом:

а) в блоке контрольной проверки вырабатывается проверочное соотношение;

б) если на выходе блока контрольной проверки появляется 0, то это означает, что символы, входящие в проверку, верны и содержимое регистра сдвигается на один разряд влево;

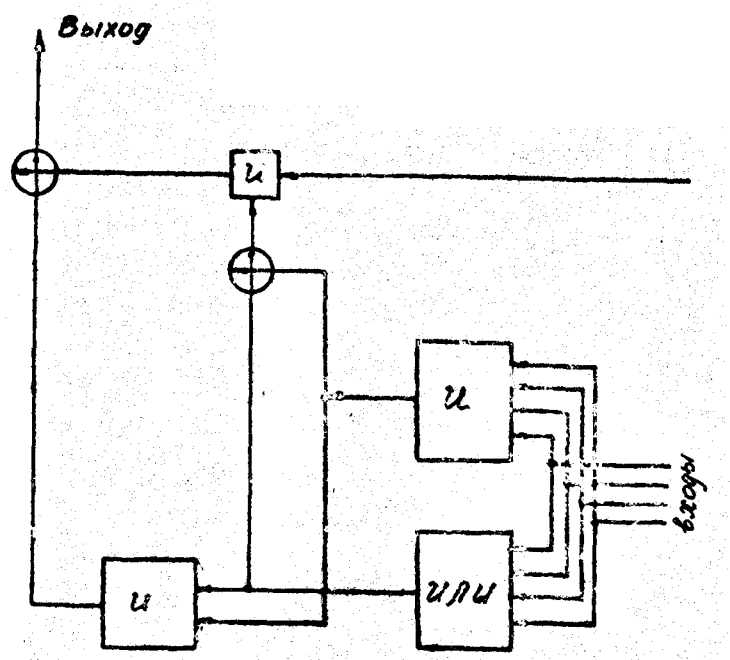


Рис.3

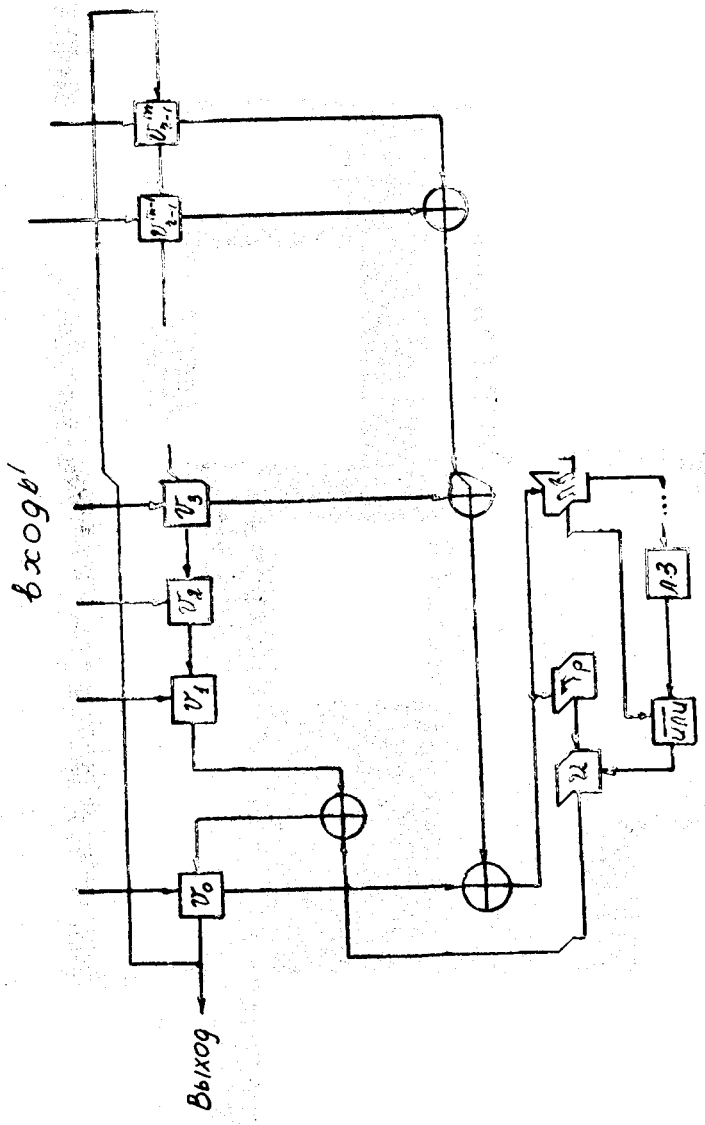


Рис. 4.

в) если в течение m тактов на выходе блока контрольной проверки вырабатывается сигнал, равный 0, то это значит, что принимаемая последовательность не содержит ошибки и устройство заканчивает работу;

г) в случае, когда на j -ом сдвиге (где $j \leq m$) на выходе блока контрольной проверки сигнал принимает значение -I, то это означает, что произошла ошибка, которая фиксируется соответствующим триггером фиксации ошибки;

д) последующим сдвигом кодового вектора ошибочный разряд вносится в те $m-1$ символов, которые не участвуют в проверке и через логические элементы вырабатывается корректирующий сигнал;

е) корректор суммирует по $mod\,2$ корректирующий сигнал с искаженным сигналом и передает в следующий разряд налево.

Так как декодирование осуществляется последовательным сдвигом кодового вектора и проверки проверочного соотношения, то ошибка самого декодера будет исправлена. Таким образом, когда на вход декодера поступает неискаженная последовательность, декодирующее устройство становится чувствительным к собственным ошибкам.

3. Реализация кодов Хэмминга с использованием матричной схемы

Рассмотрим метод кодирования и декодирования, особенностью которого является параллельная обработка информации.

Будем считать, что процессы кодирования и декодирования применяются к систематическому коду длины n с k информационными и r проверочными разрядами. Тогда

проверочная матрица имеет ступенчато-каноническую форму

$$H = [Q_{r\times k}, I_{r\times r}],$$

а вычисление проверочного вектора R по данному информационному K может быть выражено как $R = Q \cdot K$.

Схема кодирования представлена на рис.5, она состоит из тождественных элементов, каждый из которых содержит малое количество логических элементов и элементов памяти.

При кодировании передаваемой последовательности информационная часть записывается в регистр K, а контрольные r разряды после вычисления помещаются в регистр R, согласно логике

$$R = r \oplus q \cdot k,$$

где $q \in Q$, $k \in K$. Эти вычисления производятся вдоль каждой строки независимо от других строк с помощью q цифр, которые располагаются на шинах вертикально вниз вдоль каждого столбца. Таким образом, после одного такта регистр R содержит r проверочных разрядов.

Декодирование кодового, возможно ошибочного, слова (K^*, R^*) может быть выполнено путем повторного вычисления $Q \cdot K^*$ контрольных цифр и добавления их к полученным R^*, что дает синдром ошибки $Z = R^* \oplus Q \cdot K^*$, и если синдром отличен от 0, то имеет место ошибка. Для исправления одиночной ошибки необходимо, чтобы расположение ошибочных цифр в регистре R совпало со столбцом матрицы Q. Один из вариантов предложенной схемы представлен на рис.6.

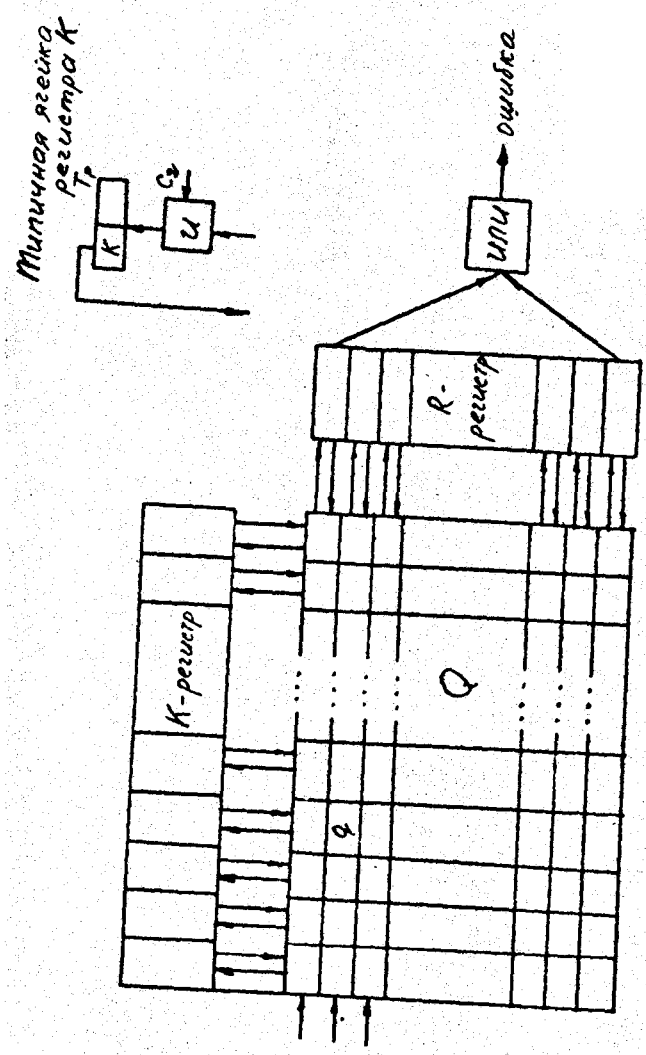


Рис.5.

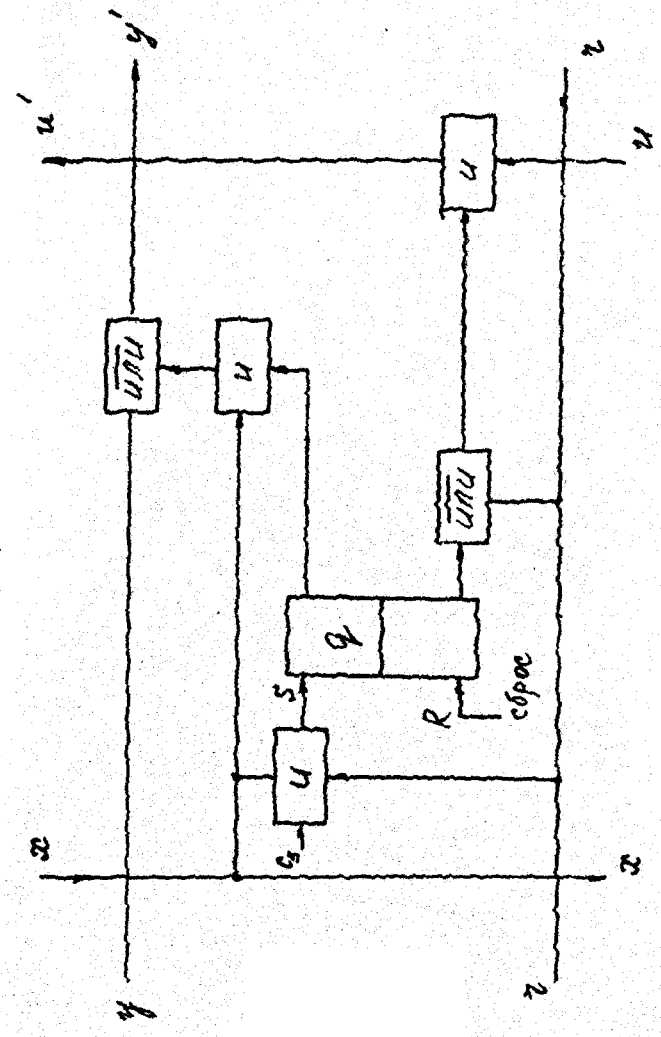


Рис. 6

Использование корректирующих кодов Хэмминга для повышения надежности запоминающих устройств

Интересный подход к построению оперативной памяти ЭВМ на базе больших интегральных схем предложен американскими проектировщиками при создании вычислительной машины "Эклипс" 4 . Отличительной особенностью этого проекта является наличие распределенной полупроводниковой буферной памяти типа "КЭШ": небольшого, встроенного в каждый из модулей МОП-памяти, биполярного ЗУ. Она позволяет центральному процессору (ЦП) работать со скоростью, определяемой собственным временем цикла. Обращение к МОП ЗУ происходит следующим образом.

Если кэшовий буфер заполнен, а ЦП запрашивает слово, которого в КЭШ не существует, специальная логическая схема, реализующая алгоритм "обновления содержимого КЭШ" (ОСК), выводит из КЭШ блок, включающий дольше всего неиспользуемых четыре слова. Далее, ассоциативное ЗУ может их заменить заново адресованным словом и тремя последующими словами, хранящимися в основной памяти. Узел ОСК постоянно контролирует и координирует работу КЭШ, все время присваивая каждому блоку из четырех слов в КЭШ признак "новизны", т.е. указывает очередность блоков по времени обращения.

В "Эклипс" используется схема ЮЮО - схема контроля и исправления ошибок: к каждому 16-битовому слову добавляется 5 контрольных битов (3 проверки на четность и 2

проверки на нечетность информационных разрядов). Для ее осуществления была переработана стандартная ферритовая матрица под 21-битовые (16+5) слова. Значения контрольных разрядов определяются состояниями некоторых фиксированных восьми битов исходного слова данных. Биты контроля на четность принимают значение 1 при четном числе единиц в соответствующей группе из 8 битов слова данных. Разряды контроля на нечетность устанавливаются в состоянии "1", если число единиц в соответствующей группе информационных битов нечетное. В результате считывания слова по таблице кодов ошибки (проверочных соотношений) определяется разряд ошибки и производится коррекция искажения.

При возникновении ошибки схема КИО, входящая в логику управления памятью, вырабатывает соответствующий признак, локализует ошибку и, исправив ее, снова записывает истинное слово в память, посылая ее одновременно в ШП. Указанные операции реализуются в специальной шифраторной логической схеме, смонтированной на плате памяти. Контрольная шифраторная логика также распределена по всем модулям памяти, причем последние снабжены схемами КИО.

В заключение подчеркнем одну особенность блока памяти "Эклипс", включающей 16 плат-модулей по 84 кристалла на каждой: она сохраняет работоспособность при одновременном выходе из строя 64 кристаллов, но при условии, что отказали по одному кристаллу в каждом ряду на всех 16 модулях.

В таблице 2 приведены приближенные характеристики сложности реализации при выборе того или иного метода кодирования и декодирования.

Таблица 2

№ п/п	Способ кодирования и декодирования		Преимущества метода	Недостатки метода	Сложность реализации (в условных единицах)
1	регистром сдвига		Оптимальный алгоритм	Последовательный прием входной последовательности (вектора); последовательная обработка информации; время декодирования $\approx 2n$ тактов	2 регистра сдвига соответственно с m и n разрядами; $\approx 2^m+m-1$
2	проверочными соотношениями (проверками)	пороговым элементом	Параллельный прием входных последовательностей; время декодирования $\approx n$ тактов	С увеличением m количество полусумматоров резко возрастает. Выдача информации происходит последовательно; посимвольная обработка информации	$\approx m(2^m-2)+2$
3		счетчиком	Параллельный прием и выдача информации. Корректируется ошибка в самом декодере. Время декодирования $\approx n$ тактов	Последовательная обработка информации. Коррекция одной ошибки, а в случае 2-х ошибок- неясная ситуация.	$\approx 2^{m-1}$
4	матрицей		Параллельная обработка и выдача информации. Время декодирования ≤ 3 тактов	Усложнение схемы	$\approx(m+1)(2^m-m)-1$

Применение больших интегральных схем (БИС) для построения ЗУ и то обстоятельство, что в БИС могут быть успешно реализованы большие цифровые сети, содержащие сотни и тысячи логических элементов, объединенных в единой схемной структуре, дают возможность осуществить быстрое кодирование и декодирование при приемлемых затратах на реализацию (общая схема введения кодовой убыточности в ЗУ показана на рис.7).

Заметим, что процесс обнаружения и исправления ошибки можно организовать подобно схеме (рис.8); обнаружение осуществляется с помощью устройства, а исправление, в зависимости от архитектуры ЭВМ, программным или аппаратурным путем.

В таблице 3 приводится зависимость необходимого количества ℓ дополнительных (избыточных) БИС от основных параметров кода: информационной длины слова -К, числа проверочных символов m и общей длины слова $n = 2^m - 1$.

Таблица 3

Общая длина слова $n=2^m-1$	Число проверочных символов m	Число информационных символов K	Число избыточных (дополнительных) БИС ℓ
7	3	4	3
I5	4	II	4
3I	5	26	5
63	6	57	6
I27	7	I20	7

В том случае, если задается реальный объем ЗУ, например равный 4 модулям по I6 БИС, не считая проверочных БИС на каждом из них, т.е. всего 64 БИС ($\approx 2^{I2}$ байт), при выборе

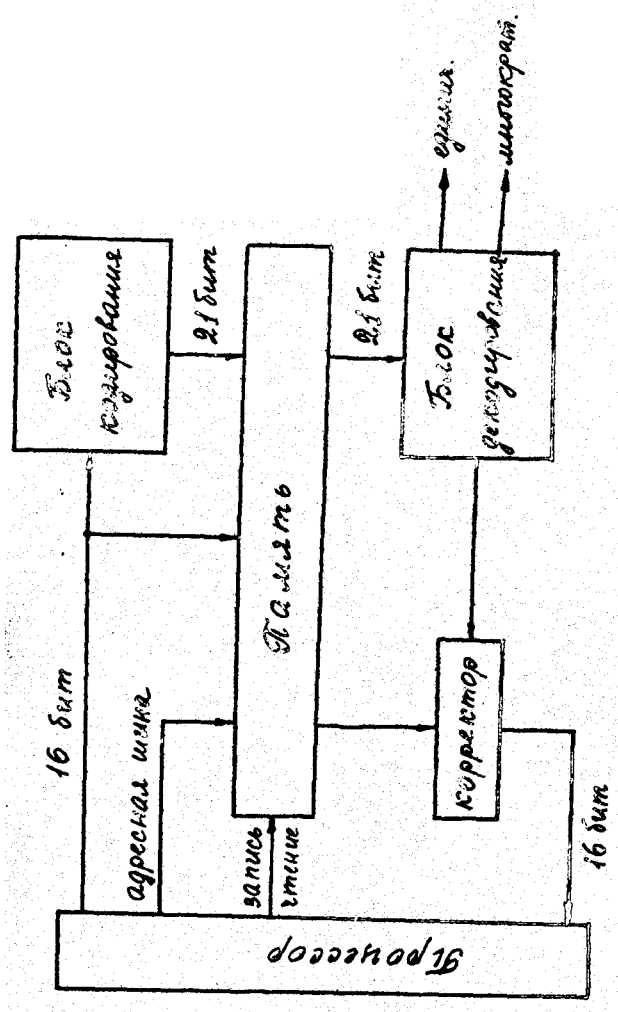


Рис.7.

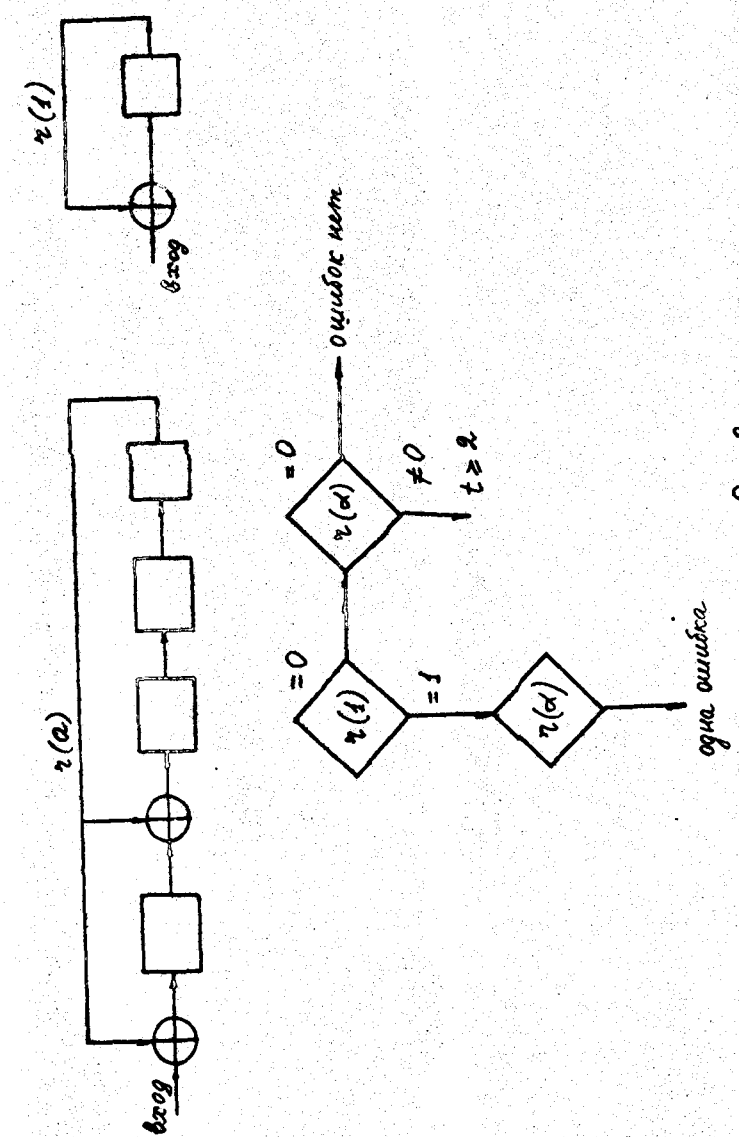


Рис. 8.

соответствующего кода, в зависимости от исходного значения k-информационной длины слова ЗУ, можно рассмотреть несколько вариантов введения избыточности.

I. При исходной информационной длине слова $5 \leq k \leq$ II, каждый модуль ЗУ требует 6 дополнительных БИС и тем самым для запоминающего устройства в целом необходимо добавить 24 БИС, что составляет $\approx$ 37% от общего числа БИС в ЗУ. В таком случае ЗУ сохраняет работоспособность при выходе из строя 8 БИС.

2. При $12 \leq k \leq 26$ для всего ЗУ необходимо добавить I2 БИС, т.е. $\approx$ I8% от общего количества БИС в ЗУ, и тогда запоминающее устройство сохраняет работоспособность при отказе 4-х БИС.

3. При $27 \leq k \leq 57$ для ЗУ в целом требуется 4 дополнительных БИС, т.е. $\approx$ 5% от всего количества, и ЗУ сохраняет работоспособность в случае выхода из строя двух БИС.

4. Случай $58 \leq k \leq$ I20 заслуживает особого внимания. Дело в том, что число БИС, используемых в ЗУ для проверки на четность (общее количество таких БИС на 4-х модулях-платах реального ЗУ равно 8, по 2 на каждом), вполне достаточно и нет необходимости вводить новые. Напротив, одна БИС остается неиспользованной.

Выбор той или иной информационной длины слова k зависит от конкретных требований, предъявляемых ЗУ (от быстродействия, структуры, надежности).

Заключение

Таким образом, на основе анализа вышеизложенного материала можно придти к следующему заключению.

Для обеспечения высокого уровня надежности функционирования оперативной памяти ЭВМ, реализованной на базе больших интегральных схем, когда реальный объем ОЗУ равен 4 модулям по I6 БИС на каждом из них, а информационная длина слова - I6 битам, представляется целесообразным рекомендовать укороченный код Хэмминга *), корректирующий одиночные ошибки с параметрами n = 2I и K = I6, т.е. (2I,I6) - код.

Тогда для реализации помехозащищенной схемы, соответствующей коду Хэмминга (2I,I6), к исходному блоку ОЗУ необходимо добавить I2 БИС (не считая имеющихся избыточных 8 БИС по 2 на каждом модуле **) и устройство в этом случае будет сохранять работоспособность при отказе любых 4 БИС (по одной на каждой плате). Ниже приводится матрица ***), на основе которой может быть реализована схема коррекции и обнаружения ошибок

$$H = \begin{matrix} 1001. & 0110. & 0111. & 1100. & 10000 \\ 0100. & 1011. & 0011. & 1110. & 01000 \\ 1011. & 0011. & 1110. & 0011. & 00100 \\ 0101. & 1001. & 1111. & 0001. & 00010 \\ 0010. & 1100. & 1111. & 1000. & 00001 \end{matrix}$$

---

*) Получается из обычного кода Хэмминга (2^m-1, 2^m-m-1), т.е. (3I,26) - кода, путем отбрасывания любых I0 разрядов.

**) Модуль памяти - двусторонняя плата по 9 БИС, вмонтированных с каждой ее стороны (8 информационных и I проверочная).

***) Черточки над "I" в I9-ом разряде третьей строки и 2I-ом разряде четвертой строки означают инверсию в этих позициях с тем, чтобы соблюдалась четность ненулевых компонент строк матрицы Н.

Литература

I. Э.Берлекэмп. Алгебраическая теория кодирования."Мир", М., I97I.

2. У.Питерсон, Э.Уэлдон. Коды, исправляющие ошибки. "Мир", М., I976.

3. У.У.Питерсон. Коды, исправляющие ошибки. "Мир", М., I964.

4. И.Т.Вест. "Электроника". (Electronics), т.48, № 23, (469), I975.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Шишигин М.И., Хомерики Т.Л.

В настоящей работе делается попытка найти компромиссное решение, учитывающее линейную организацию памяти современных вычислительных систем и древовидную структуру большинства обрабатываемых информационных таблиц. В основу описания информационных таблиц положено понятие алгебраической системы / I /.

Основные позиции, которые отстаиваются в работе, – это дальнейшая алгебраизация информационных объектов программирования и использование полуформальных языков, близких к аппаратным средствам и удобных для восприятия и анализа.

Элементы языка ассемблеровских квазиинструкций

Введем мнемонический язык некоторых ассемблеровских квазиинструкций. Этот язык может послужить переходным этапом от блок-схем модулей к программам на конкретном языке ассемблера.

Алфавит языка ассемблеровских квазиинструкций состоит из заглавных латинских и русских букв, цифр, арифметических знаков: + и –; специальных знаков: → , : . Допускается пополнение этого алфавита другими символами, в которых возникает необходимость.

В современных вычислительных системах положена в основу байтоориентированная оперативная память. Байт (октет) представляет собой наименьшую ячейку памяти, которая может быть адресована программой. Будем считать, что каждый байт оперативной памяти адресован 4-значным шестнадцатеричным числом. Оперативная память представляет собой последовательность смежных октетов с возрастающими адресами (рис.Iа). Группа последовательных байтов образует поле памяти. Поле определяется своей длиной и адресом первого байта справа или слева. Поля имеют переменную длину. В инструкциях длина поля определяется как расстояние между двумя крайними байтами (рис.Iб).

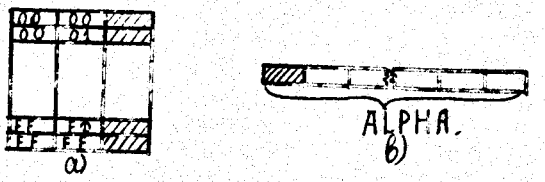


Рис. I

Память машины содержит инструкции программ, операнды, цифровые и логические результаты. Информация представляется в машине в алфавитной, десятичной и двоичной формах. В стандартной форме каждый символ занимает один байт. Полям присваиваются названия, указываются в скобках их длины, а содержимое заключается в апострофы.

Например, PUT1(4)'b+*b'.

Для относительной адресации применяются индексные регистры, каждый из которых занимает два октета. Будем считать, что в нашем распоряжении шесть индексных регистров, которые условно обозначим символами R0 ,R1 ,R2 ,R3 ,R4 ,R5 . Особое место в ассемблеровских квазиинструкциях занимают регистровые инструкции. Эти инструкции выполняют арифметические операции, а также операции сравнения и пересылки между регистрами и полями данных в оперативной памяти. Ввиду того, что байты адресованы шестнадцатеричными числами, удобно в регистровых инструкциях применить эту форму представления чисел. Шестнадцатеричные числа условимся

обозначать символом Xd, где d – число, записанное в десятичной системе счисления. Например, 00=X0, 01=X1, 0A=X10, 0B=X11, 0C=X12, 0D=X13, 0E=X14, 0F=X15, 10=X16.

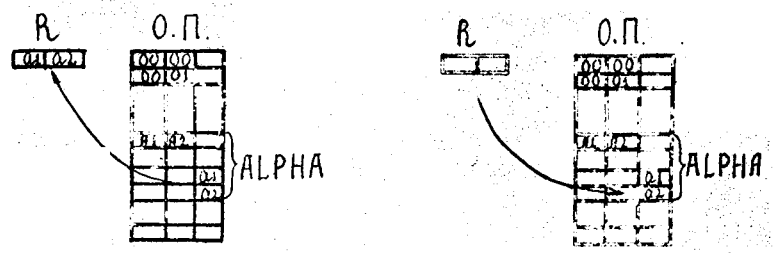
Один из операндов в регистровых инструкциях является регистром R, другой – символическим наименованием поля данных, либо шестнадцатеричным числом.

В таблице приведены регистровые квазиинструкции (рис.2).

Запись квазиинструкции	Назначение квазиинструкции
LA: R←ALPHA $R \xleftarrow{LA}$ ALPHA	Загрузить в регистр R = 0,1,2,3,4,5 адрес, присвоенный полю ALPHA
LR: R←ALPHA $R \xleftarrow{LR}$ ALPHA	Переслать в регистр R два правых байта поля ALPHA.
LR: R←Xd	Загрузить в регистр R число Xd
STR: R→ALPHA $R \xrightarrow{STR}$ ALPHA	Переслать содержимое регистра R в два правых байта поля ALPHA.
$STR = LR^{-1}$	Квазиинструкция STR обратна квазиинструкции LR.
AR: R+Xd	Прибавить к содержимому регистра R число Xd.
SR: R−Xd	Вычесть из содержимого регистра R число Xd.

В том случае, когда известно, что речь идет о регистрах, будем просто писать R+Xd, R−Xd.

Запись квазиинструкции	Назначение квазиинструкции
CR: R, Xd	Сравнить содержимое регистра R с числом Xd.
CR: Ri, Rj	Сравнить содержимое регистра Ri с содержимым регистра Rj.



а) в)

Рис 2.

Квазиинструкции пересылки: MOVE, MVI (рис.3)

Запись квазиинструкции	Назначение квазиинструкции
MOVE: ALPHA←BETA, MOVE: ALPHA(n)←BETA, $ALPHA(n) \xleftarrow{MOVE} BETA$	Переслать октеты из поля BETA в поле ALPHA по длине поля ALPHA.
MVI: „S"↦ALPHA, $„S" \xmapsto{MVI} ALPHA$	Символ S поместить в октет, адрес которого совпадает с адресом поля ALPHA.

Квазиинструкции сравнения CMI, CMC.

Запись квазиинструкции	Назначение квазиинструкции
CMI: „S", ALPHA	Символ (число) S сравнить с октетом, адрес которого совпадает с адресом поля ALPHA.
CMC: ALPHA, BETA, CMC: ALPHA(n), BETA.	Октеты поля ALPHA сравнить с октетами поля BETA. Сравнение происходит по длине поля ALPHA.

Арифметические квазиинструкции: AD, SUB.

Запись квазиинструкции	Назначение квазиинструкции
AD: ALPHA(n)+BETA(m)	Числа, размещенные в полях ALPHA и BETA складываются и

	их сумма записывается в поле ALPHA.
AD:ALPHA(n)+N	К числу, находящемуся в поле ALPHA прибавить N, N – натуральное число.
SUB:ALPHA(n)-N	Из числа, находящегося в поле ALPHA, вычесть число N.

Примечание. В арифметических квазиинструкциях операнды применяются в распакованной десятичной форме без знака.

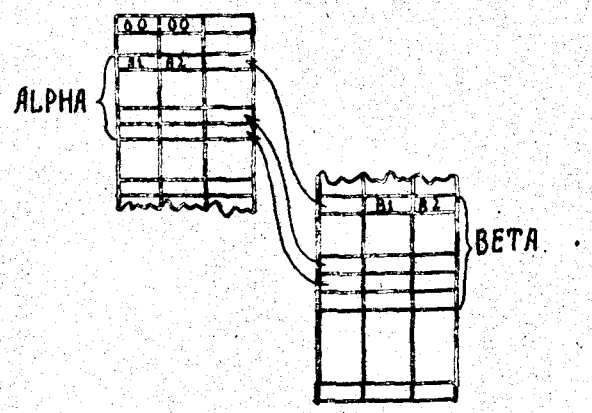


Рис. 3

Запись O/R обозначает байт, адрес которого размещен в индексном регистре R (рис.4)

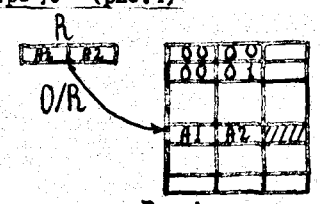


Рис.4

Обобщением этой записи является запись O/R(n), обозначающая поле из n октетов, адрес которого размещен в индексном регистре R, и запись d/R, обозначающая байт, адрес которого равен адресу, размещенному в индексном регистре R, увеличенному на d (d – натуральное число) (рис.4).

Квазиинструкции перехода: JE, JNE, JU.

JE – инструкция перехода в случае равенства,
JNE – инструкция перехода в случае неравенства,
JU – инструкция безусловного перехода.

Мнемокоды этих квазиинструкций предназначены пояснять стрелки переходов на блок-схемах. Стрелки на блок-схемах могут прерываться. В этом случае в начале и в конце прерванной стрелки ставится метка – какое-нибудь наименование. Причем, для различных прерванных стрелок применяются различные метки (рис.5).

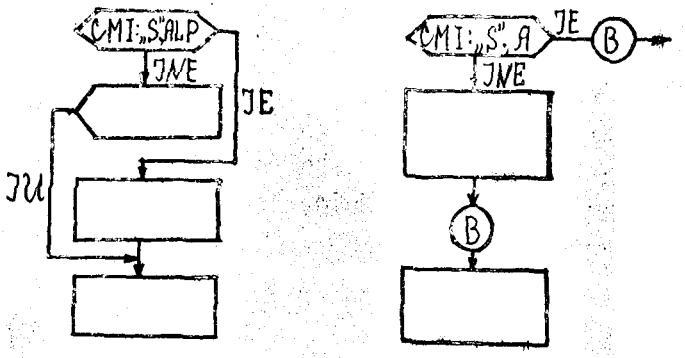


Рис. 5

Информационные структуры

Программные модули, предназначенные для решения сложных невычислительных задач, оперируют с различными таблицами информации. Таблица представляет собой множество полей, имеющих наи-

менования и объединенных одной целью. Поля таблицы, называемые также узлами, могут иметь подполя. Цель, объединяющая узлы таблицы, может потребовать определенную структуру этих узлов, которая в простейшем случае может выражаться в линейной упорядоченности полей одинаковой длины. Так возникает понятие линейного списка и его разновидностей, которые носят названия стека, очереди и дека. Задавая определенную структуру узлов таблицы, мы в первую очередь должны уяснить, какие операции будут выполняться над информацией этих узлов и как организовать доступ к этой информации. Эти рассуждения наводят на мысль о том, что понятие таблицы следует определить, опираясь на понятие алгебраической системы.

Упорядоченный набор элементов какого-либо множества будем называть, как принято в абстрактной теории множеств, кортежем. Пусть $W=\{\omega_i\}_{i\in I}$ – множество, элементами которого являются наименования полей. Каждый элемент ω (наименование поля) характеризуется своим адресом $A=a_1a_2a_3a_4$, представляющим собой 4-значное шестнадцатеричное число, и длиной $d(\omega)$. Длина $d(\omega)$ равна числу адресуемых атомарных ячеек, байтов, составляющих поле с наименованием ω. В свою очередь, каждый элемент ω представляет собой кортеж наименований подполей

$$\omega=\langle\omega_1,\omega_2,\ldots,\omega_n\rangle .$$

Принято говорить, что ω_i – i-ая координата, или i-ая компонента. Длиной подполей кортежа ω называется число n его координат. Будем считать, что элементы множества W, рассматриваемые как кортежи, имеют равную длину. Некоторые из компонент кортежа ω могут оказаться пустыми. Пустая компонента, обозначаемая Λ, имеет пустой адрес и $d(\Lambda)=0$. Очевидно, справедливо равенство

$$d(\omega)=d(\omega_1)+d(\omega_2)+\ldots+d(\omega_n)=\sum_{i=1}^{n}d(\omega_i).$$

Информационной таблицей (или просто таблицей) называется объект

$$T=\langle W,\Omega_F,\Omega_\chi\rangle ,$$

состоящий из трех множеств: непустого множества наименований W, множества частичных операций $\Omega_F=\{F\}$, определенных на множестве W, и множества частичных характеристических функций $\Omega_\chi=\{\chi\}$. Причем, мощности множеств W, Ω_F, Ω_χ не более, чем счетные. W называется носителем. Минимальный носитель $W'\subset W$, для которого сохраняются частичные характеристические функции, назовем ядром таблицы $Ker(W)$.

Пусть $\Omega'_F\subset\Omega_F$, $\Omega''_F\subset\Omega_F$, $\Omega'_\chi\subset\Omega_\chi$, $\Omega''_\chi\subset\Omega_\chi$.

Переход от таблицы $T'=\langle W,\Omega'_F,\Omega'_\chi\rangle$ к таблице $T''=\langle W,\Omega''_F,\Omega''_\chi\rangle$ назовем операцией над таблицей T'.

$$\theta: T'\mapsto T''.$$

Фактически операция над таблицей заключается в изменении множества частичных характеристических функций и множества частичных операций на базе множеств Ω_F и Ω_χ. Операция над таблицей T', вызывающая расширение ядра этой таблицы, называется операцией включения. Операция над таблицей T', вызывающая сужение ядра этой таблицы, называется операцией исключения. В приложениях особенно часто встречаются линейные списки.

Линейным списком называется информационная таблица

$$T=\langle W,\Omega_F,\Omega_\chi\rangle ,$$

где $W=\{\omega_1,\omega_2,\ldots,\omega_N\}$, имеющая следующее множество частичных характеристических функций Ω_χ :

$$\chi_1=\begin{cases}\text{I, если } (\omega_i,\omega_j)\in\{(\omega_1,\omega_2)\},\\ \text{неопределенность в противном случае}\end{cases}$$

$$\chi_2=\begin{cases}\text{I, если } (\omega_i,\omega_j)\in\{(\omega_1,\omega_2),(\omega_2,\omega_3)\},\\ \text{неопределенность в противном случае}\end{cases}$$

$$\vdots$$

$$\chi_{N-1}=\begin{cases}\text{I, если } (\omega_i,\omega_j)\in\{(\omega_1,\omega_2),(\omega_2,\omega_3),\dots,(\omega_{N-1},\omega_N)\},\\ \text{неопределенность в противном случае}\end{cases}$$

В более сложных ситуациях в таблице может быть заложена структура бинарного дерева. Приведем рекурсивное определение бинарного дерева, которое определим как множество узлов, которое или пусто, или состоит из узла, называемого корнем, и двух непересекающихся бинарных деревьев, называемых левым и правым поддеревьями данного корня.

Для придания таблице структуры бинарного дерева необходимо в каждом узле ω_i определить подполя T_i -адреса корня поддерева и подполя связей $L(T_i)$, $R(T_i)$.

Пусть $W=\{\omega_i\}_{i\in I}$ - множество наименований, представляющих собой кортежи

$$\omega_i=\langle\omega_1^i,\omega_2^i,\omega_3^i\rangle=\langle T_i, L(T_i), R(T_i)\rangle.$$

Причем, если у кортежей ω_{i_1} и ω_{i_2} либо $T_{i_1}=T_{i_2}$, либо $L(T_{i_1})=L(T_{i_2})$, либо $R(T_{i_1})=R(T_{i_2})$, то имеем $\omega_{i_1}=\omega_{i_2}$.

Введем следующее тернарное отношение:

$$\alpha=\{(\omega_t,\omega_n,\omega_\mu)\}.$$

$(\omega_{i_1},\omega_{i_2},\omega_{i_3})\in\alpha$, если:

1) элементы ω_{i_1}, ω_{i_2}, ω_{i_3} попарно различны.

2) $L(T_{i_1})=T_{i_2}$, $R(T_{i_1})=T_{i_3}$,

либо $L(T_{i_1})=\Lambda$, когда $\omega_{i_2}=\Lambda$, либо $R(T_{i_1})=\Lambda$, когда $\omega_{i_3}=\Lambda$

(Λ - пустое наименование). (рис.6 а,в,с).

Пусть $\mathfrak{A}=\{\alpha_1,\alpha_2,\dots\}$ - множество тернарных отношений указанного типа, отвечающих системе включения $\alpha_1\supset\alpha_2\supset\dots$

Лесом называется информационная таблица $T=\langle W,\Omega_F,\Omega_\chi\rangle$, имеющая следующее множество частичных характеристических функций $\Omega_\chi=\{\chi_1,\chi_2,\dots\}=\{\chi_i\}_{i\in I}$.

$$\chi_i=\begin{cases}\text{I, если } (\omega_t,\omega_n,\omega_\mu)\in\alpha_i\\ \text{неопределенность, если } (\omega_t,\omega_n,\omega_\mu)\notin\alpha_i\end{cases}$$

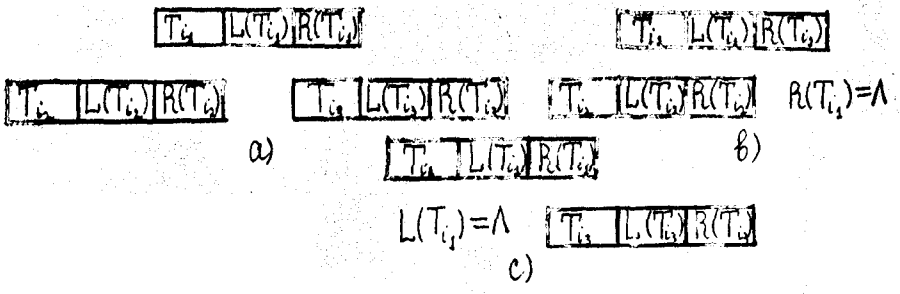


Рис. 6

Если $(\omega',\omega'',\omega'')\in\alpha$, то будем говорить, что "ω' покрывает ω'' и ω'''" и для записи этого факта введем символы $\triangleleft$, $\triangleright$: $\omega'\triangleright\omega''$, $\omega'\triangleright\omega'''$, $\omega''\triangleleft\omega'$, $\omega'''\triangleleft\omega'$

На множестве W леса T введем отношение упорядоченности $\leqslant$:

$\omega'\leqslant\omega''$, если:

1. $\omega'=\omega''$
2. $\exists\{\omega_j\}_{j=\overline{1,k}}\ (\omega''\triangleright\omega_1\triangleright\omega_2\triangleright\dots\triangleright\omega_k\triangleright\omega')$

Очевидно, отношение $\leqslant$ превращает множество W леса

T в частично упорядоченное множество.

Лес T называется деревом, если $\langle W, \leq \rangle$ имеет один максимальный элемент.

Простые операции над лесом

Теперь мы можем рассмотреть некоторые элементарные операции над лесом и интерпретировать их на языке ассемблеровских квазиинструкций. В первую очередь введем пару операторов $hd(T)$ и $tl(T)$.

Пусть $\omega^1, \ldots, \omega^k$ – максимальные элементы $\langle W, \leq \rangle$.
Тогда $hd(T) = \omega^1 \cup \omega^2 \cup \ldots \cup \omega^k = \{\omega^1, \omega^2, \ldots, \omega^k\}$.
и $tl(T) = \langle \{W - \{\omega^1, \omega^2, \ldots, \omega^k\}\}, \Omega_F, \Omega_X \rangle$.

Пусть $\omega = \langle \omega_1, \ldots, \omega_n \rangle$.
По определению $hd(\omega) = \langle \omega_1, \Lambda, \ldots, \Lambda \rangle \equiv \omega_1$,
и $tl(\omega) = \langle \Lambda, \omega_2, \ldots, \omega_n \rangle \equiv \langle \omega_2, \ldots, \omega_n, \Lambda \rangle$,
т.е. $hd(\omega)$ и $tl(\omega)$ обозначают начальное подполе элемента ω и элемент ω с усеченным первым подполем.

Заметим, что последовательные подполя элемента ω задаются функциями $hd(\omega), hd(tl(\omega)), hd(tl(tl(\omega))), \ldots$.

Операторы hd и tl, примененные к элементу ω, расчленяют элемент на подполя и интерпретируются на языке ассемблеровских квазиинструкций следующим образом:

$hd(\omega) \equiv (LA: Ri \leftarrow \omega, LR: Rj \leftarrow Xd(\omega_1))$
и $tl(\omega) \equiv (LA: R \leftarrow \langle \omega_2, \ldots, \omega_n, \Lambda \rangle, LR: Rj \leftarrow Xd)$,
где $d = d(\omega) - d(\omega_1)$.

Операторы hd и tl, примененные к лесу, расчленяют лес на подлеса.

Для составления элементов применяется оператор $cons$.

Пусть $\omega' = \langle \omega'_1, \ldots, \omega'_{k_1} \rangle$, $\omega'' = \langle \omega''_1, \ldots, \omega''_{k_2} \rangle$,
$d(\omega') = k_1$, $d(\omega'') = k_2$, $k_1 + k_2 < n$.

Тогда $cons(\omega', \omega'') = \langle \omega'_1, \ldots, \omega'_{k_1}, \omega''_1, \ldots, \omega''_{k_2}, \Lambda, \ldots, \Lambda \rangle$
и интерпретируется на языке квазиинструкций так:

$cons(\omega', \omega'') \equiv (LA: Ri \leftarrow \omega', LR: Rj \leftarrow Xd)$, $d = k_1 + k_2$.

Пусть T – линейный список. Применение оператора $cons$ к этому списку приводит к линейному списку

$$cons(\omega_0, T) = \langle W', \Omega'_F, \Omega'_X \rangle,$$

в котором $W' = \{\omega_0, \omega_1, \ldots, \omega_N\}$, множество частичных операций пополняется операцией доступа к элементу ω_0, т.е. $\Omega'_F = \Omega_F \cup F_0$, а множество частичных характеристических функций Ω'_X состоит из следующих функций:

$$\chi_0 = \begin{cases} 1, \text{ если } (\omega_i, \omega_j) \in \{(\omega_0, \omega_1)\}, \\ \text{неопределенность в противном случае} \end{cases}$$

$$\chi_1 = \begin{cases} 1, \text{ если } (\omega_i, \omega_j) \in \{(\omega, \omega_1), (\omega_1, \omega_2)\}, \\ \text{неопределенность в противном случае} \end{cases}$$

$$\vdots$$

$$\chi_{N-1} = \begin{cases} 1, \text{ если } (\omega_i, \omega_j) \in \{(\omega_0, \omega_1), (\omega_1, \omega_2), \ldots, (\omega_{N-1}, \omega_N)\}, \\ \text{неопределенность в противном случае} \end{cases}$$

Пусть $d(\omega_0) = d(\omega_1) = \ldots = d(\omega_N) = d$
и отношение (ω_p, ω_q) истинно в том случае, когда следующий программный модуль выходит на метку $TRUE$ (рис.7)

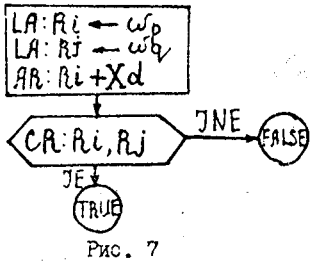


Рис. 7

Тогда операцию доступа к элементам линейного списка можно интерпретировать на языке ассемблеровских квазиинструкций следующим программным модулем:

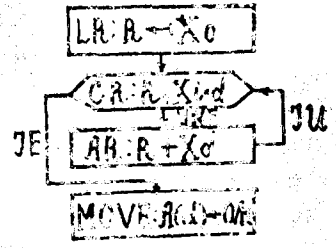


Рис. 8

Замечание. В начале работы приводится минимальный перечень ассемблеровских квазиинструкций, который позволяет осуществить простейшие операции над списками. Также можно показать, что этот набор инструкций достаточен для осуществления более сложных обработок списковых структур. Очевидно, что, расширяя набор ассемблеровских квазиинструкций, можно видоизменить существующие программные модули и расширить класс операций над списками.

Литература

I. А.И.Мальцев. Алгебраические системы. "Наука", 1970.

АЛГЕБРА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМ, ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ГИЛЬБЕРТА И КОШИ И КОМПОЗИЦИИ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ

Перельман М.Е.

Любая система может быть, в принципе, описана набором её альтернативных свойств (АС), характеризующихся их полным наличием или отсутствием (причинность, полоса пропускания сигнала, наличие спектра масс и т.п.). В работах по обоснованию квантовой механики Дж. фон Нейман установил изоморфизм между набором АС и алгеброй соответствующих проекторов. В серии статей /I - 7/ этот изоморфизм был расширен на интегральные операторы типа преобразований Гильберта, так что каждому АС сопоставлялось так наз. дисперсионное соотношение, т.е. интегральное представление класса функций, описывающих весь набор систем с данным АС.

В настоящей работе более полно прослежен изоморфизм между алгеброй проекторов (т.е. алгеброй АС) и алгеброй операторов Гильберта (H) и Коши (C) для функций класса $L_2(-\infty,\infty)$ в n-мерном действительном евклидовом пространстве (обобщения на более сложные классы функций могут быть проведены по методам /6/). Такое исследование интересно не только для общей теории систем - оно позволяет простым образом вычислить ряд сингулярных интегралов, привести некоторые кратные интегралы к более простым формам. Проведённый тип n-мерного обобщения операторов Гильберта и Коши (возможен и известен ряд типов обобщения) приводит для них к алгебре Ли и тем самым устанавливает общие теоремы композиции интегралов, близкие к теореме Пуанкаре-Бертрана.

I. Определим основные операторы.

Если

$$C'[\varphi(z)] = \frac{1}{2\pi i}\int_{\ell} \frac{\varphi(z')}{z'-z}\,dz \qquad (I)$$

интеграл Коши, то оператором Коши при $\ell = R(-\infty,\infty)$ назовём предел оператора

$$C = \lim_{\operatorname{Im} z \to 0+} C'(z), \qquad (2)$$

связанный с оператором преобразования Гильберта соотношением

$$H = 2C - 1. \qquad (3)$$

При этом операторы могут быть определены и как свертки:

$$C\varphi(x) = \frac{1}{2}\varphi(x) + \frac{1}{2\pi i}\fint \frac{\varphi(x)}{y-x}\,dy \equiv \delta_+(x) * \varphi(x); \qquad (4)$$

$$H\varphi(x) = \frac{1}{\pi i}\fint \frac{\varphi(y)}{y-x}\,dy \equiv \frac{1}{\pi i x} * \varphi(x), \qquad (5)$$

где интегралы берутся в смысле главного значения. Поскольку преобразования Фурье ядер (4) и (5) имеют вид

$$F^{-1}[\delta_+(x)] = \Theta(x); \qquad F^{-1}[1/\pi i x] = \operatorname{sgn} x, \qquad (6)$$

где $\Theta(x)$ – единичный оператор Хевисайда, то (4) и (5) или, общее, любые операторы Коши и Гильберта, можно записать в виде /I/:

$$C_P = F^{-1} P F; \qquad H_P = F^{-1}(2P - 1)F, \qquad (7)$$

где $P = P^2$ – оператор проектирования. (Отметим, что в (7) можно использовать вместо преобразования Фурье любое иное разложение по полному набору функций /I/).

Соотношения (7) показывают, что операторы Гильберта и Коши унитарно эквивалентны проекторам и поэтому их алгебры изоморфны соответствующей алгебре проекторов, т.е. без потери общности алгебре единичных операторов.

Определим сдвинутые операторы Коши и Гильберта. Поскольку

$$F_p[\Theta(x+a)] = \frac{1}{2}\delta(p) + \frac{i}{2\pi p}\{(1-\operatorname{sgn} a) + e^{ipa}\operatorname{sgn} a\}, \qquad (8)$$

то оператор сдвига по координате имеет вид

$$V_a = 1 - (1 - e^{ipa})\operatorname{sgn} a \qquad (9)$$

и можно определить абелеву группу операторов на всей вещественной оси:

$$C_a = C V_a; \qquad H_a = H V_a. \qquad (I0)$$

Отсюда, в частности, получаем (стрелка обозначает следствие), что

$$P = P_1 \cdot P_2 \longmapsto C_P = C_{P_1}\cdot C_{P_2}; \quad H_P = \frac{1}{2}(H_{P_1}\cdot H_{P_2} + H_{P_1} + H_{P_2} - 1). \qquad (II)$$

Из (II) вытекает обращение преобразования Гильберта:

$$C_P^2 = C_P; \qquad H_P^2 = 1. \qquad (I2)$$

Введение упорядочения проекторов

$$P_1 \leq P_2 \longmapsto P_1 \cdot P_2 = P_1 \qquad (I3)$$

приводит для (II) к соотношениям

$$C_{P_1}\cdot C_{P_2} = C_{P_2}; \qquad H_{P_1}\cdot H_{P_2} = H_{P_1} + H_{P_2} + 1, \qquad (I4)$$

последнее из которых уже позволяет выразить некоторые кратные сингулярные интегралы через однократные. Так, при $P_1 = \Theta(x+a)$, $P_2 = \Theta(x)$, $a \geq 0$ получаем

$$\fint \frac{dx}{x-y}\fint \frac{du}{u-x} f(u)\exp[i\alpha(u-x)] =$$

$$= \pi^2 f(y) + i\pi\fint dx\,\frac{f(x)}{x-y}\left[1 - \exp i\alpha(x-y)\right]. \qquad (I4')$$

Объединению проекторов $P_1 \cup P_2 = P_1 + P_2 - P_1\cdot P_2$ соответствуют операторы преобразований:

$$P = P_1 \cup P_2 \longmapsto C_P = C_{P_1}\cdot C_{P_2}; \quad H_P = \frac{1}{2}(1 + H_{P_1}\cdot H_{P_2}), \qquad (I5)$$

которые при условии (I3) дают, что

$$P_1 \leq P_2 \longmapsto C_P = C_{P_2}; \quad H_P = H_{P_2}. \qquad (I6)$$

Обратные элементы алгебр образуются как

$$\bar{C}_P \equiv C_{\bar{P}} = 1 - C_P; \qquad \bar{H}_P \equiv H_{\bar{P}} = 1 C_P - 1 = -H_P \qquad (I7)$$

(наше определение $\bar{C}$, естественное для проектора, отличается знаком от общепринятого). Отсюда, в соответствии с (I2), получаем:

$$C_P \cdot \bar{C}_P = 0; \qquad H_P \cdot \bar{H}_P = -1, \tag{I8}$$

что приводит к формулам Сохоцкого-Племели /8/:

$$C - \bar{C} = H; \qquad C + \bar{C} = 1. \tag{I8'}$$

Отметим, что все полученные соотношения остаются в силе и для производных от функций, т.к. очевидно, что

$$P\, D(x)\varphi(x) \longmapsto C\, D\left(\frac{d}{i\,dp}\right)\tilde{\varphi}(p), \tag{I9}$$

где $D(x)$ – полином по x с постоянными коэффициентами.

Таким образом, благодаря изоморфизму (7) построена булева алгебра операторов C_P. Операторы H образуют при этом абелеву группу на R с подгруппами $\{0, H, \bar{H}, 1\}$ и групповыми операциями (II) и (I5). Все подгруппы этой группы, согласно (I2), второго порядка.

2. Выведем некоторые функциональные соотношения для функций в гильбертовом пространстве (см. также /5/).

По теореме Планшереля (т.к. F-операторы являются изометриями /9/) имеем

$$(f, \varphi) = (\tilde{f}, \tilde{\varphi}) \tag{20}$$

(тильдой отмечена трансформанта Фурье) или

$$(f, P\varphi) = (\tilde{f}, C_P\tilde{\varphi}) = \frac{1}{2}(\tilde{f}, \tilde{\varphi}) + \frac{1}{2}(\tilde{f}, H_P\tilde{\varphi}). \tag{2I}$$

Из (2I) и самосопряжённости проекторов в $\mathcal{H}$ следует, что

$$(f, P\varphi) = (Pf, P\varphi) = (C_P\tilde{f}, C_P\tilde{\varphi}), \tag{22}$$

откуда можно получить "преобразования Коши и Гильберта по норме" и т.п. Так из известных оценок по норме для проекторов

$$\|Pf\| \le \|f\|; \qquad \|P\| = 1$$

следуют соотношения типа неравенств М.Рисса

$$\|C_P\tilde{f}\| \le \|\tilde{f}\|; \quad \|H_P\tilde{f}\| \le \|\tilde{f}\|; \quad \|C_P\| = \|H_P\| = 1. \tag{23}$$

Перейдем к спектральной теории операторов.

На операторы C_P и H_P естественно переносятся основные для спектральной теории свойства проекторов: любая функция может быть единственным образом разложена на $f = f_1 + f_2$, так что

$$Pf_1 = f_1; \qquad Pf_2 = 0 \tag{24}$$

или

$$C_P\tilde{f}_1 = \tilde{f}_1; \quad H_P\tilde{f}_1 = \tilde{f}_1; \quad C_P\tilde{f}_2 = H_P\tilde{f}_2 = 0. \tag{25}$$

Напомним, что именно соотношения (25) называются в теории информации и в физике дисперсионными соотношениями. В работах /I – 7/ такие соотношения построены и изучены для многих различных процессов и систем.

Согласно (25) собственные значения C_P равны I или 0, а собственные значения H равны I или -I. Отсюда следует, что спектральное разложение произвольного оператора A в конечномерном пространстве /I2/

$$A = \sum \alpha_k P_k \tag{26}$$

можно переписать в представлении Фурье как

$$A_F \equiv F^{-1}AF = \sum \alpha_k C_{P_k} = \frac{1}{2}\left(\sum \alpha_k + \sum \alpha_k H_{P_k}\right), \tag{27}$$

т.е. как спектральное разложение по операторам Коши или Гильберта (обобщение на бесконечно-мерный случай очевидно); условие инвариантности оператора A относительно оператора B, имеющие, согласно (26), вид $BP_k = P_kB$, приобретают форму

$$C_{P_k}B = BC_{P_k} \qquad \text{или} \qquad H_{P_k}B = BH_{P_k} \tag{28}$$

– оператор должен быть собственной функцией всех C_{P_k} и H_{P_k}.

С проекторами связаны операторы частичной изометрии /II I2/:

$$(Tf, T\varphi)_{\mathcal{H}_1} = (f, \varphi)_{\mathcal{H}_2}\ ; \qquad T^+T = P\ . \tag{29}$$

Этому соответствию можно сопоставить использование C_P для отображений одного гильбертова пространства на другое:

$$(C_P \tilde{f},\ C_P \tilde{\varphi})_{\mathcal{H}_1} = (\tilde{f}, \tilde{\varphi})_{\mathcal{H}_2}\ , \tag{30}$$

при этом $C_P(H_2)$ – линеен и непрерывен.

3. Перейдем к функциям многих переменных.

Прямое объединение семейств проекторов (напр., по различным осям в R_n) приводит к их перемножению:

$$P = \prod P_k \longmapsto C_P = \prod C_{P_k}\ ; \tag{31}$$

что много более громоздко для операторов Гильберта:

$$H_P = 2^{1-n}\prod(1+H_k) - 1 = 2^{1-n}\Big\{\sum H_k + \sum_{i\neq k} H_i H_k + \dots\Big\}\ . \tag{32}$$

Ряд соотношений п.1 и п.2 переносятся, с незначительными изменениями, на этот случай. Так, можно построить формулы Сохоцкого-Племели для функций многих переменных: для двух переменных получаем (ср. /13/, стр.91, у нас иной знак $\bar{C}$)

$$C_1 C_2 + \bar{C}_1 \bar{C}_2 + C_1 \bar{C}_2 + \bar{C}_1 C_2 = 1\ ; \tag{33}$$

$$C_1 C_2 + \bar{C}_1 \bar{C}_2 = \tfrac{1}{2}(1 + H_1 H_2)\ ; \tag{34}$$

$$C_1 C_2 + C_1 \bar{C}_1 = C_1\ ; \qquad \bar{C}_1 \bar{C}_2 + C_1 C_2 = C_2\ .$$

Проекторы по различным осям, вообще говоря, не обязательно коммутируют. Поэтому эти соотношения не однозначны: уравнению (33) можно придать четыре различные формы (или симметризовать переходом от произведений к пересечениям).

Проекторы по осям в R_n можно определить как

$$\Theta_k(x) = \vec{i}_k\ \Theta(x)\ , \tag{35}$$

где $\vec{i}_k$ – соответствующий орт. При этом, если $[f, g] = fg - gf$, то, очевидно, выполняется тождество Якоби

$$[[\Theta_i, \Theta_j], \Theta_k] + [[\Theta_j, \Theta_k], \Theta_i] + [[\Theta_k, \Theta_i], \Theta_j] = 0 \tag{36}$$

Таким образом, можно утверждать, что

проекторы, а также и операторы C_P являются элементами разрешимой действительной алгебры Ли.

Операторы Гильберта также образуют алгебру Ли, поскольку для H_k $\{k = 1, 2, \dots\}$, относящихся к разным осям, также выполняются тождества Якоби-Пуассона.

Интересные возможности связаны со следующим обобщением нашего подхода. Как было показано, H унитарно эквивалентен знаковому оператору на действительной оси. Рассмотрим при переходе к двум переменным оператор знака полярного угла:

$$\operatorname{sgn} \alpha_2 = [\Theta(x), \Theta(y)] + [\Theta(y), \Theta(-x)] + [\Theta(-x), \Theta(y)] + [\Theta(-y), \Theta(x)] \tag{37}$$

– за положительный принимаем обход против часовой стрелки. Тогда уравнение ограничения типа (24)

$$\varphi(x, y) = \operatorname{sgn} \alpha_2(x, y) \cdot \varphi(x, y)\ , \tag{38}$$

т.е. отбор функций, для которых α_2 всегда положителен, приводит, вследствие равенств

$$\tfrac{1}{4}[H_1, H_2] = [C_1, C_2] = [\bar{C}_1, \bar{C}_2] = -[C_1, \bar{C}_2] = -[\bar{C}_1, C_2], \tag{39}$$

к одному из возможных двумерных аналогов преобразования Гильберта:

$$\Big[\fint_{-\infty}^{\infty} \frac{dp'}{p'-p}\ ,\ \fint_{-\infty}^{\infty} \frac{dq'}{q'-q}\Big]\tilde{\varphi}(p', q') = (\pi i)^2 \tilde{\varphi}(p, q) \tag{40}$$

При $p = q$ (40) переходит в формулу Пуанкаре-Бертрана /8/ (для полного сходства нужны очевидные алгебраические преобразования знаменателей). Важно отметить, что (37) единственная двумерная инволюция, изоморфная, без численных множителей, комбинации операторов Гильберта.

Формулы (37) и (40) можно обобщить и на большее число измерений. Так, в трёхмерном пространстве знаковый оператор угла

может быть представлен симметризованной суммой произведений $\Theta(\pm x)\Theta(\pm y)\Theta(\pm z)$, такой, что в каждом октанте эти произведения, обходящие трёхгранный угол против часовой стрелки, берутся со знаком плюс, а по часовой стрелке – со знаком минус. Тогда фурье-свёртка соотношения типа (38) с учётом тождества Якоби приводит к уравнению

$$\{[H_k, H_p] + [H_p, H_q] + [H_q, H_k]\}\,\tilde{\varphi}(k,p,q) = \tilde{\varphi}(k,p,q), \quad (41)$$

являющемуся циклической суммой (40). Таким же образом можно доказать более общее утверждение:

Благодаря свойствам алгебры Ли в общем случае

$$\sum_{k=1}^{n} [H_k, H_{k+1}]\,\tilde{\varphi}(p_1, \dots, p_n) = \tilde{\varphi}(p_1, \dots, p_n), \quad (42)$$

где $n+1 \to 1$, и (40) исчерпывает, вместе со своими циклическими суммами, все свойства перестановок сингулярных интегралов типа Гильберта.

Отметим, что всё вышеизложенное можно увязать с теорией многомерных сингулярных интегралов Михлина (/14/, гл.IУ), т.к. сингулярные интегралы с постоянной характеристикой выражаются в форме (7), где роль символа играет проектор. Отсюда можно извлечь ряд следствий для алгебры операторов Коши и Гильберта; отметим, в частности, что обоснование всего метода и пределы его применимости для $f(x) \in L_p$, $p \neq 1$ следуют из теории мультипликаторов Фурье /14, 15/.

П р и л о ж е н и е.

Техника, используемая выше, позволяет получить много любопытных и, на первый взгляд, нетривиальных определенных интегралов. Ниже приводится несколько конкретных примеров (обозначения следуют книге /9/ и сравниваются с /10/.

1). $\operatorname{sgn}(x)\Theta(x) = \Theta(x) \longmapsto \int_{-\infty}^{\infty} dq/q\,(p-q) = \pi^2\delta(p)$

2). $|\Theta(1-x^2)|^2 = \Theta(1-x^2) \longmapsto \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dq\,\cos q}{q^2-p^2} = \frac{\pi \sin p}{2p} + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2\delta(p)$

(Ср. /10/, формула 3.723.9, где исключено значение $p = 0$).

3). $(1-x^2)_+^{\lambda} = \Theta(1-x^2)(1-x^2)_+^{\lambda} \quad (\lambda \neq -1, -2, \dots) \longmapsto$

$$\int_{-\infty}^{\infty} dq\, j_{\lambda+1/2}(q)\,\frac{\sin(q-p)}{q-p} = \pi\, j_{\lambda+1/2}(p)$$

(Ср. /10/, формулы 6.697 и 6.717), $j_\lambda(p) = J_\lambda(p)/p^\lambda$.

4). $(1-x^2)_+^{\alpha}(1-x^2)_+^{n-\alpha} = (1-x^2)_+^{n} \longmapsto$

$$\int dq\, j_{\alpha+1/2}(q-p)\, j_{n-\alpha+1/2}(q) = \left[\Gamma(\alpha+1)\Gamma(n+\alpha-1)\right]^{-1} \cdot \left\{2^{1-n}\pi\left(1+\frac{d^2}{dp^2}\right)\delta(p) - \sqrt{2\pi}\, j_{n+1/2}(p)\right\}.$$

Л и т е р а т у р а

1. М.Е.Перельман. Сб. Кибернетические модели. Мецниереба, Тбилиси, 1965.
2. М.Е.Перельман. ЖЭТФ, 50, 613, 1966.
3. М.Е.Перельман. ДАН СССР, 187, 783, 1969.
4. М.Е.Перельман, В.В.Чавчанидзе. Тезисы ХУ Межд.конф. по физике высоких энергий. Киев, 1970.
5. М.Е.Перельман. Сообщ. АН ГССР, 61, 34, 1971.
6. М.Е.Перельман. Сообщ. АН ГССР, 81, 325, 1976.
7. М.Е.Перельман. ХУШ Межд. конф. по физике высоких энергий. Тбилиси, 1976.
8. Н.И.Мусхелишвили. Сингулярные интегральные уравнения. "Наука", М., 1968.
9. И.М.Гельфанд, Г.Е.Шилов. Обобщенные функции и действия над ними. ГИФМЛ, М., 1959.
10. И.С.Градштейн, И.М.Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИФМЛ, М., 1962.

II. Н.И.Ахиезер, И.М.Глазман. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве."Наука", М., 1966.

I2. П.Халмош. Конечномерные векторные пространства. ГИФМЛ, М., 1963.

I3. Ф.Д.Гахов. Краевые задачи. ГИФМЛ, М., 1963.

I4. С.Г.Михлин. Многомерные сингулярные интегралы и интегральные уравнения. ГИФМЛ, М., 1962.

I5. С.Бохнер. Лекции об интегралах Фурье. ГИФМЛ, М., 1962.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ФАКТОРОВ ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

Кватадзе К.Г.

В научной литературе все чаще подчеркивается мысль, что процесс обучения и воспитания суть сложнейшие процессы управления. Дифференциация, систематизация и моделирование взаимосвязанных и переменных факторов, от которых в целом зависит оптимизация этих процессов, пока не осуществлены. Академик А.И.Берг совершенно своевременно отмечал, что без систематизации факторов обучения, или параметров, "невозможна ни оценка создаваемых систем управления обучением, ни текущая диагностика параметров усвоения, ни оптимальное управление самим процессом усвоения" /I/.

В работе "Модель, предлагаемая для анализа учебного процесса. Теория и практика обучения" П.Ходж отмечает, что "Фрай был первым (1963) исследователем, который попытался составить общую классификацию переменных, характерных для процесса программированного обучения". Позднее Глейзер и некоторые другие рассмотрели отдельные аспекты этой проблемы. Ходж в указанном труде дает новую классификацию, основанную на тех тенденциях, которые в 50-60-х годах господствовали в американской педагогике. Эти тенденции американской педагогики в основном противоречат новым направлениям. Вот что пишет по этому поводу Морган Спергс в статье "Исследования и разработки в США": "В педагогических лабораториях, в экспериментальных школах и в некоторых классах обычных школ проводятся самые разнообразные опыты. Их результаты опровер-

гают многие общепринятые представления. Несостоятельными оказываются утверждения, что умственные способности ребенка есть величина постоянная, что творческие способности соответствуют "коэффициенту умственного развития", что врожденная способность к обучению практически не может быть улучшена, что учебная программа должна быть жестко увязана с уровнем подготовки детей и что обучение, будучи процессом трудным и неестественным, требует, чтобы детей все время подхлестывал страх провала и наказания или же, наоборот, манила надежда на похвалу и награду" /2/.

По мнению Ходжа, его классификация "может служить в качестве справочной таблицы в проведении последующих экспериментальных исследований как в сфере программированного, так и традиционного обучения" /I/, но она, как замечает сам же Ходж, "не является полной". Кроме того, в этой классификации на первый план выдвигаются вопросы усиления частоты "подкрепления", "жесткие соответствия обучающей программы с индивидуальными способностями обучаемых", которые, по мнению Моргана Спаргса, в американской педагогике теперь отвергаются. Ходж главное внимание уделяет факторам, обуславливающим индивидуализированное обучение с помощью обучающих машин. Классификация Ходжа почти ничего не говорит о тех факторах, которые определяют успех обучения и воспитания при коллективном обучении на уроках и на лекциях, на которых ведущая роль принадлежит учителям или лекторам, соответствующим образом не учитываются положительные стороны коллективного обучения и воспитания. Следовательно, классификацию Ходжа, безусловно

имеющую ряд положительных сторон, трудно применить при разработке проблем коллективного воспитания и обучения на уроках и на лекциях.

При осуществлении нами дифференциации, систематизации и моделирования взаимосвязанных и переменных факторов обучения и воспитания были учтены руководящие положения дидактики, педагогики, педагогической психологии, кибернетики, исследования операций, НОТ и некоторых других отраслей науки. В процессе классификации системы факторов обучения по возможности были соблюдены такие известные логические требования: единство основания, соразмерность, взаимоисключаемость, непрерывность и полнота.

Принимая все меры для совершенствования структурной модели факторов обучения (СМФО), мы в полной мере отдавали себе отчет в том, что, поскольку многие понятия педагогики, дидактики, психологии и других отраслей науки, представленные в СМФО, вызывают разногласия, трудно разработать такую СМФО, которая будет одинаково приемлема для всех. Учитывая это обстоятельство, критерий оправданности предложенного варианта СМФО можно сформулировать примерно так: превосходит или нет новая СМФО предшествующие варианты по символике, дающей возможность быстро находить искомые факторы и при надобности компактно ссылаться на них, по полноте факторов и учету сложного характера их взаимосвязей, и, что самое главное, по соответствию основным задачам советской системы образования.

Предлагаемая СМФО содержит необходимую информацию для постановки и решения всех проблем, относящихся к теории и практике обучения и воспитания. Назовем некоторые из них.

В факторах d_{ij}, предложенных СМФО (смотрите ниже), изложена основная информация для решения основных проблем, выдвинутых Э.А.Шеварднадзе на IУ съезде учителей Грузии:

1. Создание системы социальных факторов для портрета учителя.
2. Создание системы оптимальных программ для целей подготовки и переподготовки учителей.
3. Разработка системы повышения квалификации учителей.
4. Разработка основ подхода к аттестации учителей.
5. Установление оптимальных вариантов систем обучения и воспитания подрастающего поколения как активных строителей нового коммунистического общества /3/.

СМФО создает весьма благоприятную базу для управления творческой деятельностью студентов педвуза путем психоэвристического программирования /4/. Она содержит необходимую информацию для формирования концептов ("вычислимых понятий") с целью оценки способности абитуриентов к педагогической деятельности и уровня готовности выпускников педвуза.

Из совокупности факторов обучения и воспитания на правах рабочего варианта можно выделить следующие собирательные факторы первого ранга:

A - государственные цели обучения и воспитания;

B - государственная система образования;

C - система характеристик и особенностей обучаемых;

D - данные о педагогической деятельности обучающих;

E - духовная среда;

F - материальная среда и школьное оборудование;

G - климатические и санитарно-гигиенические условия;

H - дидактические и управляющие средства обучения и воспитания, удовлетворяющие требованиям: $K_{i,j}$; $X_{5,j}$; $X_{6,j}$; (смотрите ниже);

K - дидактические принципы обучения;

L - формы организации обучения;

M - источники учебно-воспитательной информации;

N - дифференциация знаний по уровням, подуровням и видам деятельности, определяющим стратегические цели обучения;

O - комплекс целей методов и приемов, приводящих к достижению результатов, соответствующих намеченным целям;

P - степень управления процессом обучения;

Q - основные конструктивные компоненты компетентной учебной и методической литературы, определяющие их политехническое, образовательное и воспитательное содержание и уровень приспособленности к управлению процессом обучения;

R - система оценки и поощрения академической успеваемости и поведения учащихся;

S - формы оценки академической успеваемости учащихся;

T - частота оценки академической успеваемости учащихся;

U - методы исследования процесса обучения и воспитания;

V - методы исследования педагогической деятельности обучающих, повышение квалификации педагогических работников и их поощрение за особые заслуги;

W - качество управления системой образования;

X - применение некоторых данных из других отраслей науки в

теории и практике обучения и воспитания;

$\mathcal{V}$ - причины, тормозящие обучение.

Структурную модель собирательных факторов первого ранга по собирательным факторам второго ранга (обозначается знаком $a_1, a_2, \ldots, b_1, b_2, \ldots$ и т.д.), этих последних по "элементарным" факторам (обозначение знаком $a_{1,1}, a_{1,2} \ldots b_{1,1}, b_{1,2} \ldots$ и т.д.), а также взаимосвязей факторов обучения, как и прежде на правах рабочего варианта можно представить примерно следующим образом:

A - государственные цели обучения и воспитания[I)]

a_1-идейно-политические цели обучения и воспитания ($a_{1,1}$- формирование научно-материалистического мировоззрения; $a_{1,2}$- атеистическое воспитание; $a_{1,3}$ - воспитание советского патриотизма; $a_{1,4}$- воспитание пролетарского интернационализма; $a_{1,5}$ - формирование активного и сознательного строителя коммунистического общества);

a_2- общеобразовательные цели обучения и воспитания ($a_{2,1}$- способствовать всестороннему интеллектуальному развитию; $a_{2,2}$ - сообщать необходимые основы наук; $a_{2,3}$ - способствовать профессиональной ориентации на основе трудового и политехнического образования и путем дифференциации обучения; $a_{2,4}$ - содействовать нравственному и эстетическому воспитанию, соответствующему моральному кодексу строителя коммунизма; $a_{2,5}$ - способствовать развитию познавательной деятельности и творческого мышления; $a_{2,6}$ - выработать следующие основные умения и навыки: приобретать знания самостоятельно,

---

I)В связи с ограниченным объемом статьи здесь будут представлены структуры только некоторых собирательных факторов.

творчески применять полученные знания в новой ситуации, использовать книги и справочную литературу и т.д.; $a_{2,7}$ - развить чувство долга и ответственности; $a_{2,8}$ - формировать общественную активность учащихся путем их привлечения в пионерские и комсомольские организации, в самоуправление школой и т.д.; $a_{2,9}$ -всесторонне способствовать выполнению закона об обязательном восьмилетнем обучении и всеобщем среднем образовании);

a_3 - профессиональные цели обучения и воспитания, направленные на обеспечение интенсивного прогресса в экономике, технике, науке ($a_{3,1}$ - подготовить рабочих разных профессий, с учетом обеспечения всеобщего среднего образования; $a_{3,2}$ - подготовить специалистов со средней квалификацией; $a_{3,3}$ - подготовить специалистов с высшим образованием; $a_{3,4}$ - повысить квалификацию специалистов; $a_{3,5}$ - подготовить научные кадры);

a_4 - физические цели обучения и воспитания - физическая подготовка учащихся ($a_{4,1}$ - к учебе; $a_{4,2}$ - к труду; $a_{4,3}$ - к жизни; $a_{4,4}$ - к защите Родины).

D- Данные и качество педагогической деятельности обучающих

d_1- биологические данные и квалификация ($d_{1,1}$ - возраст; $d_{1,2}$- пол; $d_{1,3}$ - состояние здоровья; $d_{1,4}$ - образовательный ценз; $d_{1,5}$- стаж работы);

d_2- идейно-политическая направленность ($d_{2,1}$ - глубоко владеть политическими знаниями; $d_{2,2}$- способствовать коммунистическому воспитанию учащихся; $d_{2,3}$ - связывать обучение и воспитание с жизнью; $d_{2,4}$- активно участвовать в общественной работе);

d_3 - интеллектуальные данные ($d_{3,1}$ - память; $d_{3,2}$ - мышление; $d_{3,3}$ - вербальный интеллект; $d_{3,4}$ - невербальный интеллект; $d_{3,5}$ - воображение; $d_{3,6}$ - ясность; $d_{3,7}$ - творчество; $d_{3,8}$ - изобретательность; $d_{3,9}$ - наблюдательность; $d_{3,10}$ - критичность; $d_{3,11}$ - последовательность; $d_{3,12}$ - остроумие);

d_4 - качества речи, мимика, жестикуляция ($d_{4,1}$ - образность; $d_{4,2}$ - выразительность; $d_{4,3}$ - убедительность; $d_{4,4}$ - внушительность; $d_{4,5}$ - доступность; $d_{4,6}$ - логическая стройность; $d_{4,7}$ - лексическое богатство; $d_{4,8}$ - культура; $d_{4,9}$ - мимика; $d_{4,10}$ - жестикуляция);

d_5 - качества воображения ($d_{5,1}$ - педагогическая направленность; $d_{5,2}$ - художественность);

d_6 - способность познавать характерные особенности учащихся ($d_{6,1}$ - по элементам внешнего облика; $d_{6,2}$ - по факторам: $C_{i,j}$);

d_7 - качества характера ($d_{7,1}$ - решительность; $d_{7,2}$ - находчивость; $d_{7,3}$ - самоконтроль; $d_{7,4}$ - энергичность; $d_{7,5}$ - целеустремленность; $d_{7,6}$ - выдержка; $d_{7,7}$ - внимательность; $d_{7,8}$ - строгость; $d_{7,9}$ - терпение; $d_{7,10}$ - справедливость; $d_{7,11}$ - требовательность; $d_{7,12}$ - чуткость; $d_{7,13}$ - тактичность; $d_{7,14}$ - доброжелательность; $d_{7,15}$ - самокритичность);

d_8 - эмоциональные качества ($d_{8,1}$ - живость; $d_{8,2}$ увлеченность своим делом; $d_{8,3}$ - умение вдохновить и увлечь на глубокое овладение учебным предметом; $d_{8,4}$ - жизнерадостность; $d_{8,5}$ - искренность; $d_{8,6}$ -любовь к детям; $d_{8,7}$ - спокойствие; $d_{8,8}$ - уравновешенность);

d_9 - организаторские способности ($d_{9,1}$ - умение мо-

билизовать все возможности учащихся для решения учебной задачи; $d_{9,2}$ - умение управлять поведением учащихся; $d_{9,3}$ - умение повысить авторитет детского, педагогического и родительского коллектива среди учащихся; $d_{9,4}$ - умение сплотить коллектив и учащихся; $d_{9,5}$ - умение организовать коллективную и индивидуальную деятельность учащихся; $d_{9,6}$ - умение рационально распределить свое время на уроке; $d_{9,7}$ - умение воспитывать дисциплинированность, внимание, прилежание и т.д.);

d_{10} - коммуникативная деятельность ($d_{10,1}$ - адаптирование методов обучения; $d_{10,2}$ - адаптирование воспитательных мероприятий; $d_{10,3}$ - помощь коллегам в работе; $d_{10,4}$ - участие в школьных, районных, городских, республиканских и всесоюзных методических мероприятиях; $d_{10,5}$ - выступление на страницах педагогических газет и научно-методических журналов с методическими письмами);

d_{11} - способность, умение и навыки проведения внешних операций ($d_{11,1}$ - по каллиграфии; $d_{11,2}$ - по рисованию; $d_{11,3}$ - по черчению; $d_{11,4}$ - по применению учебной доски; $d_{11,5}$ - по проведению демонстрационных опытов; $d_{11,6}$ - по организации кабинетов; $d_{11,7}$ - по переводу аппаратов; $h_{3,j}$; $h_{4,j}$ - на дистанционное управление; $d_{11,8}$ - по целенаправленному применению технических средств обучения).

d_{12} - отношение к делу ($d_{12,1}$ - отношение к преподаванию предмета; $d_{12,2}$ - отношение к воспитательным мероприятиям; $d_{12,3}$ - отношение к совершенствованию педагогической деятельности; $d_{12,4}$ - отношение к организации учебных кабинетов).

d_{13} - владение учебным предметом ($d_{13,1}$ - в теоре-

тическом аспекте; $d_{13,2}$ - по решению задач; $d_{13,3}$ - по знанию практических и лабораторных работ),

d_{14} - владение методикой обучения и воспитания и способность применить их на практике ($d_{14,1}$ - составление календарных и тематических планов с учетом факторов $K_{8,2}$;

$d_{14,2}$ - конструирование учебного материала на основе $h_{1,j}$ и с учетом факторов $a_{i,j}$; $c_{i,j}$; $e_{i,j}$; $f_{i,j}$; $k_{i,j}$; $l_{i,j}$;

$d_{14,3}$ - конструирование воспитательного материала с учетом факторов $h_{2,j}$; $h_{3,j}$; $h_{4,j}$; $h_{5,j}$;

$d_{14,4}$ - подготовка дидактических средств для проведения урока с учетом факторов;

$d_{14,5}$ - определение цели и выбор соответствующих методов обучения и составление программ управления обучением с учетом факторов $d_{14,1}$; $d_{14,2}$; $d_{14,3}$; $m_{i,j}$; $n_{i,j}$; $o_{i,j}$; $p_{i,j}$ $q_{i,j}$;

$d_{14,6}$ - умение проводить каждый урок разнообразно и увлекательно; $d_{14,7}$ -умение управлять процессом обучения на основе обратной связи на Ш и IУ уровнях знаний, т.е. выполнять резкмирующее требование социалистической дидактики; $d_{14,8}$ - умение предвидеть затруднения учащихся и предотвращать их; $d_{14,9}$ - умение строить уроки композиционно непохоже один на другой;

$d_{14,10}$ - умение учить работать с книгой; $d_{14,11}$ - в совершенстве владеть разнообразными методами изложения нового материала - рассказом, беседой, лекцией, эвристическим, проблемным и т.д.; $d_{14,12}$ - умение проводить демонстрационные опыты;

$d_{14,13}$ - умение воспитывать активность и творческое мышление у учащихся; $d_{14,14}$ - организация систематического контроля за выполнением домашних заданий **учащимися**; $d_{14,15}$ - уметь планомерно и удачно рецензировать и оценивать знания, навыки и умение учащихся;

d_{15} - качества вспомогательных видов знаний ($d_{15,1}$ - знание других учебных предметов; $d_{15,2}$ - знание жизни, окружающей среды и производства; $d_{15,3}$ - знание истории и теории педагогики; $d_{15,4}$ - знание психологии детей; $d_{15,5}$ - широкий научный кругозор).

d_{16} - реальные возможности ($d_{16,1}$ -по факторам $d_{1,j}$ ...$d_{14,j}$; $d_{16,2}$ - по **наличию** методической и вспомогательной литературы; $d_{16,3}$ - по приобретению, созданию и оптимальному применению дидактических средств обучения; $d_{16,4}$ - по режиму времени; $d_{16,5}$ - по семейным обстоятельствам).

E - духовная среда

e_1 - идейно-политические и социальные взгляды и тенденции, личные примеры ($e_{1,1}$ - руководителей партии и правительства; $e_{1,2}$ - руководителей школ и учителей; $e_{1,3}$ - руководителей детских организаций; $e_{1,4}$ - родителей и других членов семьи; $e_{1,5}$ - родственников и знакомых; $e_{1,6}$ /- **любимых писателей**,артистов, спортсменов, ученых и представителей разных социальных группировок).

F - материальная среда и школьное оборудование

f_1 - микрорайон школы; f_2 - расположение компонентов школы и их оформление в соответствии с современными требованиями по факторам $x_{5,j}$; f_3 - комнаты для занятий, оборудованные техническими средствами обучения, удовлетворяющими аудовизуальным требованиям; f_4 - школьная мебель, удовлетворяющая требованиям эргономики; f_5 - цвета, применяемые для украшения и оформления школьного здания, комнат, мебели, удовлетворяющие требованиям цветологии; f_6 - школьный тех-

нический центр управления учебно-воспитательной работой.

N -дифференциация знаний по уровням, подуровням и видам деятельности, определяющих стратегические цели обучения

n_1 - I уровень - начальный уровень знаний ($n_{1,1}$ - жизненный опыт; $n_{1,2}$ - начальная теоретическая подготовка; $n_{1,3}$ - начальные умения и навыки; $n_{1,4}$ - начальное отношение к изучаемому вопросу);

n_2 - II уровень знаний - первичное ознакомление с учебным материалом ($n_{2,1}$ - неопознанный; $n_{2,2}$ - частично опознанный; $n_{2,3}$ - опознанный);

n_3 - III уровень знаний - уровень устной или письменной репродукции воспринятого и осмысленного материала ($n_{3,1}$ - дискретная репродукция по основным вопросам изучаемого материала; $n_{3,2}$ - целостная репродукция усвоенного материала);

n_4 - IУ уровень знаний - уровень углубления и упрочения усвоенного теоретического материала путем его применения в знакомой ситуации ($n_{4,1}$ - решение простых примеров и задач; $n_{4,2}$ - создание относительно простых сочинений, преобразование текстов, выполнение переводов и других дидактических заданий);

n_5 - У уровень знаний - дальнейшее углубление полученных знаний, умений и навыков на основе их применения в новой ситуации ($n_{5,1}$ - решение комбинированных и сложных примеров и задач; $n_{5,2}$ - создание сложных сочинений, преобразование текстов, выполнение переводов и других дидактических заданий).

n_6 - УI уровень знаний - исследовательский уровень зна-

ний ($n_{6,1}$ - по историческим и теоретическим вопросам; $n_{6,2}$ - в экспериментальных вопросах; $n_{6,3}$ - при конструировании разных приборов и аппаратов).

O - комплекс целей, методов и приемов обучения, приводящих к достижению результатов, соответствующих намеченным целям

O_1 - первый комплекс. Цели: $O_{1,1}$ - определить начальные уровни знаний, умений и навыков учащихся (I уровень знания); $O_{1,2}$ - систематизировать начальные знания; $O_{1,3}$ - по надобности оценить знания учащихся; $O_{1,4}$ - в зависимости от обстоятельств проверить деятельность учащихся по надлежащим факторам: $a_{i,j}$. Методы и приемы: $O'_{1,1}$ - проверка домашних заданий; $O'_{1,2}$ - устный фронтальный и индивидуальный опрос; $O'_{1,3}$ - фронтальные и индивидуальные письменные контрольные работы; $O'_{1,4}$ - проверка знаний обучаемых с помощью контролирующих машин.

В зависимости от конкретной ситуации выбор методов осуществляет учитель.

O_2 - второй комплекс. Цели: $O_{2,1}$ - первичное ознакомление с учебным материалом в целом и в общих чертах - обучение на втором уровне знаний; $O_{2,2}$ - увязывание изучаемой темы с пройденным материалом, жизненным опытом и будущими профессиональными перспективами учащихся; $O_{2,3}$ - путем эмоций удивления, чувства ожидания нового, интеллектуальной радости и успеха вызвать потребность и активизировать все силы к учебе, вдохновить и увлечь учащихся на глубокое понимание и прочное усвоение учебного материала. Методы: $O'_{2,1}$ - рассказ и $O'_{2,2}$ - школьная лекция с целенаправленным применением следующих дидактических средств: $k_{2,j}$; $k_{3,j}$; $k_{4,j}$; $k_{5,1}$; $k_{6,1}$; $k_{6,2}$;

$h_{9,1}$; $h_{9,2}$; $h_{9,1}$; $O'_{2,3}$ - экскурсия с учетом факторов: $a_{i,j}$; $c_{i,j}$; $e_{i,j}$ $f_{i,j}$; $m_{i,j}$;

O_3 - третий комплекс. Цели: $O_{3,1}$ - глубокое познание сущности изучаемого материала по основным вопросам темы; $O_{3,2}$ - развитие познавательной способности и творческого мышления; $O_{3,3}$ - развитие умения делать выводы самостоятельно; $O_{3,4}$ - выработка навыков проведения внешних и внутренних умственных операций; $O_{3,4}$ - развитие профессиональной ориентации; $O_{3,5}$ - на основе соответствующей учебной деятельности обеспечить усвоение изучаемого материала на уровне дискретной репродукции по главным вопросам темы урока, которые рассчитаны на долгую память и создают базис для самостоятельного приобретения знаний и правильной ориентации в потоке научно-технической и политической информации, т.е. выполнить резюмирующее требование социалистической дидактики для урока (обучение на первом подуровне Ш уровня знаний); $O_{3,6}$ - по особенности изучаемого материала надлежащим образом учесть остальные факторы: $a_{i,j}$. Методы и приемы: $O'_{3,1}$ - объяснение; $O'_{3,2}$ - беседа; $O'_{3,3}$ - эвристический или частично-поисковый; $O'_{3,4}$ - проблемный; $O'_{3,5}$ - генетический; $O'_{3,6}$ - исторический; $O'_{3,7}$ - алгоритмический; $O'_{3,8}$ - чтение вслух; $O'_{3,9}$ - декламация; $O_{3,10}$ - инструктаж; $O'_{3,11}$ - работа над учебником; $O'_{3,12}$ - целенаправленное управление процессом усвоения итоговых выводов основных вопросов учебного материала на уровне дискретной репродукции (только таким путем можно обеспечить резюмирующее требование социалистической дидактики).

При выборе соответствующих методов обучения должны быть учтены дидактические принципы - $K_{i,j}$ и факторы: $a_{i,j}$; $c_{i,j}$;

$e_{i,j}$; $f_{i,j}$. А для материальности или материализованности обучения должны быть подобраны надлежащие наглядные средства из факторов: $h_{2,j}$; $h_{3,j}$; $h_{4,j}$; $h_{6,1}$; $h_{7,j}$; $h_{8,j}$; $h_{9,2}$; h_{10}; h_{17};

O_4 - четвертый комплекс. Цели: $O_{4,1}$ - дальнейшее углубление знаний, умений и навыков путем их применения на практике (обучение на IУ и У уровнях знаний); $O_{4,2}$ - выработать умение переноса и самостоятельного приобретения знаний; $O_{4,3}$ - формировать навыки применения вспомогательных учебников и справочной литературы; $O_{4,4}$ - приучить к применению алгоритмов решения задач в знакомых и незнакомых ситуациях; $O_{4,5}$ - выработка навыков применения измерительных приборов, экспериментальной и демонстрационной техники и проведения экспериментальных и демонстрационных опытов; $O_{4,6}$ - внедрение трудовых и манипуляционных навыков; $O_{4,7}$ - прочное усвоение тех вопросов, которые рассчитаны на долгую память; $O_{4,8}$ - в зависимости от содержания учебного материала надлежащим образом принимать во внимание также другие факторы от $a_{i,j}$. Методы и приемы: $O'_{4,1}$ - выполнение задания и упражнений, решение примеров и задач различного типа (теоретического, экспериментального) и разной сложности; $O'_{4,2}$ - проведение лабораторных работ и практикумов; $O'_{4,3}$ - работа учащихся в учебных мастерских и на производстве; $O'_{4,4}$ - творческий разбор текстов и их преобразование; $O'_{4,5}$ - написание сочинения; $O'_{4,6}$ - экскурсии; $O'_{4,7}$ - тематическое и систематическое повторение; $O'_{4,8}$ - контрольные работы; $O'_{4,9}$ - дифференцированные домашние задания с учетом индивидуальных особенностей учащихся.

При выборе методов обучения здесь также должны быть учтены дидактические принципы $K_{i,j}$ и факторы: $a_{i,j}$; $c_{i,j}$; $e_{i,j}$; $f_{i,j}$;

а из дидактических средств, в зависимости от конкретных условий, выбор следует делать из факторов: $h_{2,j}$; $h_{3,j}$; $h_{4,j}$; $h_{6,3}$; $h_{7,j}$; $h_{8,j}$; $h_{9,2}$; h_{10}; h_{11};

O_5 - пятый комплекс. Цели: $O_{5,1}$ - ознакомление с проблемами, стоящими перед природой, техникой и общественной жизнью и на этой основе формирование у учащихся общественной активности, непреклонного стремления к научному и техническому прогрессу; $O_{5,2}$ - выработка навыков наблюдательности и самостоятельного творческого мышления; $O_{5,3}$ - выработка стремления овладеть сложной техникой; $O_{5,4}$ - формирование у учащихся желания быть изобретателями и рационализаторами; $O_{5,5}$ - ознакомление учащихся, имеющих соответствующие способности и стремление, с некоторыми методами научного исследования (обучения на У уровне знаний). Методы и приемы: $O'_{5,1}$ - наблюдение за явлениями, происходящими в природе и в общественной жизни и собирание надлежащих материалов; $O'_{5,2}$ - отыскание компетентной литературы; $O'_{5,3}$ - работа над справочниками, документами и архивными материалами; $O'_{5,4}$ - рецензирование, аннотирование и конспектирование изучаемой литературы; $O'_{5,5}$ - составление библиографических карточек; $O'_{5,6}$ - выявление нерешенных вопросов, определение цели исследований и постановка проблемы и подпроблемы; $O'_{5,7}$ - выдвижение гипотезы для решения данной проблемы или подпроблемы; $O'_{5,8}$ - составление плана исследования; $O'_{5,9}$ - теоретическая и экспериментальная проверка выдвинутых гипотез и их корректирование; $O'_{5,10}$ - формулировка полученных результатов, их анализ и прогнозирование практического и теоретического значения этих результатов; $O'_{5,11}$ - составление тезисов; $O'_{5,12}$ - литературное оформление проведенного исследования; $O'_{5,13}$ - написание доклада и реферата; $O'_{5,14}$ - моделирование сложных процессов, машин и установок; $O'_{5,15}$ - проектирование и конструирование новых приборов и установок и т.д.

С некоторыми элементами научного исследования учащихся знакомят при изучении нового материала на уроке, в особенности тогда, когда применяются следующие методы обучения: $O'_{3,3}$; $O'_{3,4}$; $O'_{3,5}$; $O'_{3,6}$. А более подробно о этими элементами учащиеся, имеющие особое стремление к научным исследованиям, будут иметь возможность ознакомиться на семинарских занятиях, в классах и школах с углубленным изучением предметов, в академиях для учащихся и во время других видов внеклассных и внешкольных занятий.

Q - основные конструктивные компоненты учебной и методической литературы, определяющие их политическое образовательное и воспитательное содержание и уровень приспособленности к управлению процессом обучения

При конструировании учебной и методической литературы необходимо соответствующим образом учитывать следующие факторы: $a_{i,j}$; $b_{i,j}$; $c_{i,j}$; $d_{i,j}$; $e_{i,j}$; $k_{i,j}$; $l_{i,j}$; $m_{i,j}$; $n_{i,j}$; $p_{i,j}$; $r_{i,j}$; $s_{i,j}$; $t_{i,j}$;

q_1 - школьный учебник, по возможности пригодный для обучения на П,Ш,IУ и У уровнях знаний и тематического и систематического повторения ($q_{1,1}$ - намечение оптимальных стратегических и тактических руководящих идей и логической последовательности для определения оптимального объема знаний курса и распределения учебной информации как логического целого по разделам, главам и параграфам; $q_{1,2}$ - установление соответствующих знаний, изложенных в параграфе: терминов, понятий, фак-

тов, описаний, рисунков, схем, графиков, диаграмм, таблиц, теорем, доказательств, законов, теорий, научных и социальных идей, последовательность познавательного процесса; $q_{1,3}$ – использование материала, изученного ранее; $q_{1,4}$ – увязывание изложения учебного материала с техникой и жизнью; $q_{1,5}$ – умеренное применение принципов историзма; $q_{1,6}$ – определение объема параграфа, соответствующего реальным возможностям учащихся; $q_{1,7}$ – при изложении содержания параграфа по возможности учитывать его приспособленность к тем методам, по которым учитель должен вести обучение на уроке; $q_{1,8}$ – в конце параграфа конструировать вопросы и задачи, преследующие в основном следующие цели: I) дальнейшее углубление знаний; 2) объединение изученного, 3) применение знаний для решения задач различной сложности и различного типа, 4) тематическое и систематическое повторение; $q_{1,9}$ – конструирование контрольных вопросов, комбинированных задач и задания в конце главы с целью: I) взаимосвязи и всестороннего осмысливания изученного материала; 2) прочного усвоения осмысленного материала по главным вопросам главы, раздела, курса на длительный период; 3) ориентировать в дальнейшем, как совершенствовать знания при помощи вспомогательных учебных пособий; $q_{1,10}$ – конструирование материала для лабораторных занятий в конце глав, перед которым ставятся следующие цели: выработать у учащихся умение, навыки экспериментальных исследований, навыки работы с лабораторным оборудованием, аппаратурой и установками и т.д.; $q_{1,11}$ – отыскание лучшего варианта полиграфического оформления; $q_{1,12}$ – сочетание цветов для шрифта, формул, рисунков, чертежей; $q_{1,13}$ – выбор стиля изложения материала в соответствии с возрастом и особенностями учебного предмета).

q – программированный учебник. Вариант программированного учебника, пригодного для советской школы; дополнительно $q_{1,1-9}$ будет иметь следующие структурные элементы: $q_{2,1}$ – деление параграфов по квантам информации с учетом возраста, уровня развития учащихся, особенностей предмета и конкретной цели обучения; $q_{2,2}$ – в конце квантов информации целенаправленное конструирование вопросов, ставящих перед собою следующие задачи: I) предупредить отвлечение внимания ученика от изучаемых вопросов, 2) проверить, правильно ли поняли учащиеся сообщенную информацию, 3) содействовать развитию познавательной способности и мышления, 4) способствовать воспитательным задачам данной темы, 5) увязать полученные знания с практикой, 6) вырабатывать "способность переноса", 7) приучать к применению алгоритмов, 8) развивать умение выражать графически и математически, на основе эксперимента или теоретического размышления полученные закономерности, и, наоборот, изложить словесно содержание закономерности, выведенной с помощью математических выкладок, 9) выработать навыки проведения внешних и внутренних операций, I0) обеспечить усвоение полученных знаний на уровне репродукции.

q_3 – сборники примеров, задач, заданий и вопросов ($q_{3,1}$ – обычные; $q_{3,2}$ – с решениями образцов типичных примеров и задач);

q_4 – методические пособия для учителей (обычные, с общими указаниями).

q_5 – программированные методические пособия для учителей ($q_{5,1}$ – информация о конструировании дополнительного – относительно учебника – учебного и воспитательного материала; $q_{5,2}$ – по параграфам учебника указание на выбор целей и со-

ответствующих методов обучения; $q_{5.3}$ – ориентировочная, но конкретная программа управления процессом обучения, обеспечивающая выполнение резюмирующего требования советской дидактики для урока – 7-й принцип дидактики; $q_{5.4}$ – план тематического и систематического повторения, гарантирующего выполнение 8-го принципа дидактики).

q_6 – программированный материал для контролирующих машин, тренажёров и репетиторов ($q_{6.1}$ – характер программы: а) конструирование ответа, б) выбор ответа из предъявленных; $q_{6.2}$ – методы оценки: а) по количеству правильных ответов, б) по количеству ошибок, в) по отношению числа верных ответов к числу ошибок, г) по коэффициенту полезного действия обучения).

W – качество управления системой образования;

W_1 – составление по иерархическим ступеням оптимальных планов управления системой образования и нахождение рациональных способов их реализации на практике;

W_2 – в соответствии с целью $a_{i,j}$ и индивидуальными способностями по данным с i,j рациональное перераспределение обучающих в дифференцированной системе образования $b_{i,j}$;

W_3 – оптимальное распределение и перегруппировка по компетентности педагогических кадров с учетом факторов и руководство ими,

W_4 – с учетом факторов $e_{i,j}$ эффективное привлечение семьи и общественных организаций к воспитанию и обучению;

W_5 – целенаправленное пополнение и использование учебно-материальной базы по факторам $f_{i,j}$; $h_{i,j}$;

W_6 – рациональное применение финансовых средств по назначению;

W_7 – осуществление квалифицированного и объективного инспектирования компетентными специалистами всех звеньев системы образования;

W_8 – организация интенсивных научно-исследовательских работ по всем актуальным проблемам педагогики;

W_9 – умелая организация информационных мероприятий;

W_{10} – своевременное и широкое внедрение в практику новейших достижений педагогических наук;

W_{11} – обеспечение постоянного усовершенствования квалификации педагогов и руководящих кадров органов просвещения путем самообучения и с помощью повышения квалификации по факторам: $V_{i,j}$ и $d_{i,j}$;

W_{12} – организация обучения на дому с больными учениками;

W_{13} – строгое соблюдение условий, обеспечивающих безопасность учащихся во время занятий, на отдыхе, при перевозке и т.д.

W_{14} – своевременное применение профилактических мер против инфекционных заболеваний и систематическое наблюдение за здоровьем учащихся и учителей.

X – применение некоторых данных из других наук в теории и практике обучения и воспитания

X_1 – из биологии ($X_{1,j}$ – по факторам: $c_{i,j}$ и $d_{i,j}$);

X_2 – из физиологии ($X_{2,j}$ – по факторам: $c_{2,j}$);

X_3 – из педагогической психологии ($X_{3,1}$ – о возрастной психологии; $X_{3,2}$ основы психологии обучения; $X_{3,3}$ – осно-

вы психологии воспитания; $X_{3,4}$ – теория поэтапного формирования умственных действий и по факторам: $c_{1,j}$; $d_{2,j}$; $K_{5,j}$.

X_4 – из физиологии ($X_{4,1}$ – о методологии и методе; $X_{4,2}$ – о теории познания; $X_{4,3}$ – о понятиях; $X_{4,4}$ – о законах и закономерностях; $X_{4,5}$ – о суждении, доказательстве и т.д.);

X_5 – из инженерной психологии и социологии относительно учебных средств и оборудования ($X_{5,1}$ – функционально-педагогическое; $X_{5,2}$ – научное; $X_{5,3}$ – психологическое; $X_{5,4}$ – эргономическое; $X_{5,5}$ – технике безопасности ; $X_{5,6}$ – технико-эстетическое; $X_{5,7}$ – техническое; $X_{5,8}$ – технологическое; $X_{5,9}$ – организационно-производственное; $X_{5,10}$ – экономическое);

X_6 – из кибернетики ($X_{6,1}$ – о теории информации, алгоритмов и программирования; $X_{6,2}$ – о моделировании сложных процессов; $X_{6,3}$ – об управлении сложными процессами и обучением; $X_{6,4}$ – о теории автоматов);

X_7 – из математики ($X_{7,1}$ – о теории вероятности; $X_{7,2}$ – о теории массового обслуживания, $X_{7,3}$ – о математической статистике; $X_{7,4}$ – об исследовании операций);

X_8 – из НОТ ($X_{8,1}$ – об оптимальном проектировании школьных зданий, учебных кабинетов и лабораторий, приспособленных для монтажа ТСО; комплекс школ-интернатов, детских яслей; садов и т.д.; $X_{8,2}$ – об оборудовании рабочих мест учащихся и учителей; $X_{8,3}$ – об освещении и затемнении учебных кабинетов и лабораторий и в целом

учебно-воспитательного комплекса; $X_{8,4}$ – о подборе цветов для окрашивания кабинетов, лабораторий, учебной мебели, коридоров, вестибюлей и т.д.; $X_{8,5}$ – о планировании учебной деятельности учащихся; $X_{8,6}$ – о педагогической деятельности учителей, руководителей школ, комсомольской и пионерской организации и т.д.; $X_{8,7}$ – о выработке оптимальных условий и режима работы школ; $X_{8,8}$ – о реальных возможностях учащихся и учителей, методах обучения и т.д.);

X_9 – из науковедения ($X_{9,1}$ – о методологических основах, методах и средствах научного исследования, $X_{9,2}$ – об оптимизации научных исследований в педагогике, $X_{9,3}$ – об объективных критериях оценки педагогических исследований; $X_{9,4}$ – об определении удельного веса и прогнозирования вероятности массового распространения предложенных новых методов обучения; $X_{9,5}$ – об оптимальной организации воспитания научных кадров в педагогике).

Y – причины, тормозящие обучение и воспитание.

y – отрицательное отклонение от нормы по всем вышеперечисленным факторам, в особенности по факторам: $c_{i,j}$; $d_{i,j}$; $e_{i,j}$

Литература

1. Кибернетика и проблемы обучения. Под ред.Берга А.И., "Прогресс" М., 9,272,279, 1970.
2. М.Спаргс. Исследования и разработки в США.1972,14.
3. Э.А.Шеварднадзе. Партийное руководство школой – на уровень требований XXУ съезда КПСС, "Заря Востока" № 107, (15779),7 мая 1977 г.

4. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Психоэвристическое программирование. Под ред. Чавчанидзе В.В., "Мецниереба", Тбилиси, 1974, 31-40.

ГЛАВА 7

ВОПРОСЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО КОДООБРАЗОВАНИЯ

Чавчанидзе В.В., Квинихидзе К.С.

Введение

В 1953 году Уотсоном и Криком /1-3/ была открыта комплементарная двухцепочечная структура ДНК и выявлен механизм ее репликации. Это событие позволило иначе взглянуть на проблему передачи генетической информации от нуклеиновых кислот к белку.

Дальнейшие исследования /4-6/ были направлены на выяснение того, как изменяется первичная структура белка вследствие спонтанных и индуцированных точечных мутаций, происшедших под действием различных мутагенов, в нуклеиновых кислотах.

Параллельно с исследованием точечных мутаций начались исследования изменений, происшедших в генетическом коде в процессе эволюции. Эти исследования непосредственно связаны с проблемой происхождения самой жизни. Тщательный анализ фактов, которые могут иметь какое-то отношение к эволюции кода, был проведен в работе Вёзе /7/.

Основные свойства ДНК /8/

Молекулы ДНК всех видов клеток построены из четырех основных мононуклеотидных единиц, состоящих из остатков сахара - дезоксирибозы, остатков фосфорной кислоты и одного из четырех азотистых оснований: аденина (А), гуанина (Г), цитозина (Ц) и тимина (У). Мононуклеотиды связаны между собой 3^{I}, 5^{I} фосфодиэфирными мостиками.

Четыре указанных нуклеотида сочетаются в молекуле ДНК

строго определенным образом - сумма пуриновых (А , Г) нуклеотидов равна сумме пиримидиновых (Ц, Т) нуклеотидов:

А+Г =Ц + Т , причем А=Т , а Ц = Г .

Молекула ДНК представляет собой двойную спираль, в которой обе нити через азотистые основания связаны друг с другом водородными связями, при этом А всегда соединяется с Т , а Г - с Ц . Это известный принцип комплементарности, который является важнейшим в структуре самой молекулы ДНК и в механизме ее редупликации.

ДНК обладает свойствами матрицы, в которой 4-буквенным алфавитом зафиксирована вся наследственная информация микробной клетки, вирусной частицы и клеток живого организма.

Любые наследственные изменения, связанные с мутациями или рекомбинациями, несут в своей основе изменение в порядке чередования нуклеотидов или выпадение некоторых из них.

"Алфавит" дезоксирибонуклеиновой кислоты

Первая работа, в которой была сделана попытка расшифровки "алфавита" ДНК, была выполнена Гамовым /9/ в 1954 г.

Представив проблему кода как формальную проблему перевода текста с одного алфавита на другой, Гамов, тем самым, отделил ее от частных химических проблем и сделал доступным изучение ряда вопросов (таких, как перекрываемость кода, кодовое отношение и т.д.) еще до того, как исследователям стал известен механизм синтеза белка.

Чтобы показать, что конкретный подход к решению проблемы декодирования действительно возможен, Гамов /10/ в качестве примера описал способ проверки ромбического кода.
Вслед за этой работой появились и другие, в которых предпри-

нимались попытки ускорить расшифровку кода путем изучения последствий от введения некоторых ограничений, необходимых, как предполагали тогда, для кодирования генетической информации. Были предложены: "комбинационный код" Гамова и Ичаса /II/, "код без запятых" Крика и его сотрудников /I2/, коды Голомба и др. /I3/, Чавчанидзе /I4/, Шварца /I5/, Ичаса /I6-I8/, Агено /I9/.

Все эти коды основывались на знании двух основных функций ДНК: I. Перенос генетической информации, в процессе которого транскрибируется ДНК с образованием РНК, а последовательность оснований РНК затем транслируется в аминокислотную последовательность белков; 2. Собственная редупликация ДНК. При удвоении генома клетки ДНК служит матрицей для образования двух идентичных хромосом.

Коды Чавчанидзе 1958 и 1961 гг.

В 1958 г. Чавчанидзе /I4/ был предложен вырожденный код, в котором комплементарные триплеты и зеркальные копии триплетов считались эквивалентными.

Как известно, общее число триплетов равно 64 - это число всех возможных сочетаний из четырех оснований по 3. I6 триплетов, имеющих на первом месте А , таковы:

$$\begin{vmatrix}А\\А\\А\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\А\\Г\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\А\\Т\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\А\\Ц\end{vmatrix}\qquad \begin{vmatrix}А\\Г\\А\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Г\\Г\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Г\\Т\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Г\\Ц\end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix}А\\Т\\А\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Г\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Т\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Ц\end{vmatrix}\qquad \begin{vmatrix}А\\Т\\А\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Г\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Т\end{vmatrix}\ \begin{vmatrix}А\\Т\\Ц\end{vmatrix}$$

Аналогичный вид имеют I6 триплетов, на первом месте у которых Г , Т или Ц .

Двадцать кодовых групп триплетов образуются следующим образом. Вводятся два постулата:

I - триплет α и сопряженный (комплементарный) с ним триплет α^{*} несут одинаковую "информационную нагрузку" и, следовательно, α и α^{*} кодируют одну и ту же аминокислоту.

2 - кодоны α и α^{-1} несут одинаковую "информационную нагрузку" и кодируют одну и ту же аминокислоту.

На основании постулата I получают восемь пар комбинаций типа α и α^{*} с одинаковой "информационной нагрузкой":

$$\begin{vmatrix}А\\А\\А\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Т\\Т\\Т\end{vmatrix};\quad \begin{vmatrix}Г\\Г\\Г\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Ц\\Ц\\Ц\end{vmatrix};\quad \begin{vmatrix}А\\Г\\А\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Т\\Ц\\Т\end{vmatrix};\quad \begin{vmatrix}Г\\Т\\Г\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Ц\\А\\Ц\end{vmatrix}\ldots$$

Оставшиеся 48 кодонов не обладают зеркальной симметрией, одинаковой "информационной" нагрузкой обладают уже группы из четырех триплетов:

$$\begin{vmatrix}А\\Г\\Т\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Т\\Ц\\А\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Т\\Г\\А\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}А\\Ц\\А\end{vmatrix};\qquad \begin{vmatrix}А\\Г\\Г\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Т\\Ц\\Ц\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Г\\Г\\А\end{vmatrix} \equiv \begin{vmatrix}Ц\\Ц\\Т\end{vmatrix}\ldots$$

Число таких групп равно I2.

Таким образом, получается всего 20 существенно различающихся кодовых групп ("букв алфавита"), несущих различную информационную нагрузку.

Очевидно, что 20 букв алфавита ДНК неравноценны между собой - восемь из них дважды, а двенадцать четырежды вырождены. Это уже означает наличие некоторой структуры в построении аминокислотной последовательности, т.к. энтропия "сообщения" /20/ при различно вырожденных "буквах" меньше, чем в том случае, когда все 64 триплета несут одинаковую "информационную нагрузку":

$$\mathcal{H}_{ДНК} = -\sum_{i=1}^{8} p_i \log p_i - \sum_{j=1}^{12} p_j' \log p_j' = -\frac{8}{32}\log\frac{1}{32} - \frac{12}{16}\log\frac{1}{16} =$$

$$= \frac{17}{4} < -\sum_{k=1}^{64} p_k'' \log p_k'' = \log 64 = 6 = \mathcal{H}^{o}.$$

Физический смысл постулатов I и II объясняется следующим образом: поскольку известно, что молекула ДНК построена таким образом, что не имеет выделенного направления "вверх" и "вниз", трудно предположить, что триплеты $\left|\begin{matrix}А\\Т\\Г\end{matrix}\right|$ и $\left|\begin{matrix}Г\\Т\\А\end{matrix}\right|$ присоединяют к себе различные аминокислоты.

По словам автора /I4/, "сейчас нет таких причин физико-химического характера, которые не позволяли бы принять сравнительно простой постулат II".

Что же касается постулата I, то "известный факт, что А присоединяет к себе Т, а Г - Ц, говорит о том, что правый столбец, целиком составленный из оснований, сопряженных основаниями левого столбца, в целом должен нести ту же "генетическую информацию", что и левый столбец. Это следует из того, что появление Т на уровне основания А - событие достоверное, а не определяемое вероятностным образом. События же с единичной вероятностью никакой дополнительной информации не приносят".

Из сказанного нельзя сделать однозначного вывода о том,

сколько оснований участвует в присоединении одной аминокислоты - три или шесть, поскольку ячейки α и α^* удовлетворяют постулатам I и II как совместно, так и порознь. Одна и та же аминокислота может быть прикреплена как к ячейке (триплету) $\alpha = \left|\begin{matrix}А\\Г\\Ц\end{matrix}\right|$, так и к сдвоенной ячейке $/\alpha, \alpha^*/$, т.е. к $\left|\begin{matrix}А & Т\\Г & Ц\\Ц & Г\end{matrix}\right|$.

Ясно также и то, что сдвоенная ячейка $/\alpha^*, \alpha/$ не отличается от сдвоенной ячейки $/\alpha, \alpha^*/$ в соответствии с постулатом I.

Таким образом, вопрос о том, происходит ли прикрепление одной аминокислоты к паре сопряженных ячеек $/\alpha, \alpha^*/$ или двух одинаковых аминокислот к двум тождественным (в смысле постулата I) ячейкам $/\alpha/$ и $/\alpha^*/$, остается открытым.

Интересно, что в 1962 Агено /I9/ был предложен код, совпадающий с кодом Чавчанидзе 1958г.

Несколько позже, в 1961г. на I Всесоюзном симпозиуме по кибернетике в г.Тбилиси и на Объединенной сессии Отделения биологических наук СССР и Научного совета по комплексной проблеме "Кибернетика" при Президиуме АН СССР в Москве в апреле 1962 г. (опубликован лишь в 1966 г.)/2I/ был предложен новый код, построенный на основе новых данных биохимических исследований.

Если код 1958 г. основывался на двуспиральной модели ДНК, то при создании нового кода автор исходил из того, что ДНК является матрицей для синтеза m - РНК, последовательность нуклеотидов в которой и определяет последовательность аминокислот в полипептидной цепи, причем только три основания - "антикодон" s - РНК, осуществляют узнавание места присоединения к полипептиду соответствующей активированной

аминокислоты.

Основой кода 1961 г. является Постулат K (об уровневой независимости кода).

Постулат K : свойства оснований в триплетах, образующих в совокупности с сахарными и фосфатными группами соединения включения (клатратные соединения) /22/, не зависят от порядка расположения оснований внутри "полосы", образуемой триплетом.

В этом коде также получается 20 кодовых групп, несущих различную "информационную нагрузку". Это четыре невырожденных триплета

$$\begin{vmatrix}А\\А\\А\end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix}У\\У\\У\end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix}Г\\Г\\Г\end{vmatrix} \quad и \quad \begin{vmatrix}Ц\\Ц\\Ц\end{vmatrix},$$

двенадцать триплетов, содержащих два одинаковых основания:

$$\begin{vmatrix}А\\А\\У\end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix}Г\\Ц\\Ц\end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix}Ц\\У\\Ц\end{vmatrix}$$

и т.п., и четыре триплета, все три основания в которых различны:

$$\begin{vmatrix}А\\У\\Ц\end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix}Г\\Ц\\У\end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix}А\\У\\Г\end{vmatrix} \quad и \quad \begin{vmatrix}А\\Г\\Ц\end{vmatrix}.$$

Степень вырожденности этих триплетов равна 1, 3 и 6 соответственно.

В работе /21/ Чавчанидзе введено формальное описание триплетов на языке индуктивной логики /23/.

Как известно, пурины (А, Г) имеют длину порядка 7 Å,

x) Рибонуклеиновая кислота (РНК) в отличие от ДНК содержит остатки сахара-рибозы, а вместо азотистого основания тимин (Т) - урацил (У), способность связывания которого водородными связями с аденином (А) немного ниже.

им приписывается свойство быть длинными - P_1, пиримидины же (Ц, Т, У) имеют длину порядка 5 Å и им приписывается свойство быть короткими $\overline{P_1}$. Кроме того, А с Т(У) соединяются двумя водородными связями, им приписывается свойство $\overline{P_2}$, а Ц и Г связываются тремя водородными связями, им приписывается свойство P_2. С точки зрения математической логики P_1 и P_2 являются предикатами, закрепленными в триплете на различных уровнях: верхнем (a), среднем (b) и нижнем (c). В новых обозначениях триплет $\begin{vmatrix}Г\\Г\\Г\end{vmatrix}$ можно записать так: $\begin{vmatrix}P_1(a) & P_1(b) & P_1(c)\\ P_2(a) & P_2(b) & P_2(c)\end{vmatrix}$,

триплет $\begin{vmatrix}А\\Г\\Г\end{vmatrix}$ запишется так: $\begin{vmatrix}P_1(a) & P_1(b) & P_1(c)\\ \overline{P_2}(a) & P_2(b) & P_2(c)\end{vmatrix}$ и т.п.

В данном случае имеет место языковая система $\mathcal{L}_N^{\pi} = \mathcal{L}_3^2$, где N - число предметов (оснований в триплете), а $\pi = 2$ - число различных примитивных предикатов (P_1 и P_2).

Общее число описаний состояния равно 64:

$$S_1 = \begin{vmatrix}P_1(a) & P_1(b) & P_1(c)\\ P_2(a) & P_2(b) & P_2(c)\end{vmatrix}$$

$$S_2 = \begin{vmatrix}P_1(a) & P_1(b) & P_1(c)\\ P_2(a) & P_2(b) & \overline{P_2}(c)\end{vmatrix}$$

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

$$S_{64} = \begin{vmatrix}\overline{P_1}(a) & \overline{P_1}(b) & \overline{P_1}(c)\\ \overline{P_2}(a) & \overline{P_2}(b) & \overline{P_2}(c)\end{vmatrix}.$$

Конъюнкция совместных свойств P_1 и P_2 может быть истолкована в виде четырех несовместных свойств (четырех различных азотистых оснований). Это дает возможность образовать Q - предикаты с соответствующими Q - свойствами следующим образом:

$$Q_1 = P_1 \cdot P_2 \; ; \qquad Q_3 = \overline{P_1} \cdot P_2 \; ;$$
$$Q_2 = P_1 \cdot \overline{P_2} \; ; \qquad Q_4 = \overline{P_1} \cdot \overline{P_2} \, .$$

Предикат Q_1 обладает свойствами Г, Q_2 – А, Q_3 – Ц, Q_4 – Т(У). В таких обозначениях триплет $\left|\begin{matrix} А \\ Г \\ Ц \end{matrix}\right|$ запишется так: $\left|\begin{matrix} Q_2 \\ Q_1 \\ Q_3 \end{matrix}\right|$.

В таблице I приведены 20 триплетов, имеющих различный состав, записанных на языке индуктивной логики.

Таблица I.

$K_1 = Q_1 Q_1 Q_1$; $K_6 = Q_1 Q_1 Q_2$; $K_{11} = Q_1 Q_2 Q_1$; $K_{16} = Q_2 Q_1 Q_1$;
$K_2 = Q_2 Q_2 Q_1$; $K_7 = Q_2 Q_2 Q_2$; $K_{12} = Q_2 Q_2 Q_3$; $K_{17} = Q_2 Q_2 Q_4$;
$K_3 = Q_3 Q_3 Q_1$; $K_8 = Q_3 Q_3 Q_2$; $K_{13} = Q_3 Q_3 Q_3$; $K_{18} = Q_3 Q_3 Q_4$;
$K_4 = Q_4 Q_4 Q_1$; $K_9 = Q_4 Q_4 Q_2$; $K_{14} = Q_4 Q_4 Q_3$; $K_{19} = Q_4 Q_4 Q_4$;
$K_5 = Q_1 Q_2 Q_3$; $K_{10} = Q_1 Q_2 Q_4$; $K_{15} = Q_1 Q_3 Q_4$; $K_{20} = Q_2 Q_3 Q_4$.

"Примерно к 1958 г., – пишет Ичас /24/, – уже мало кто сомневался в существовании того или иного кода. Однако ни один из предложенных вариантов не был достаточно убедительным даже для самих авторов". Обсуждая проблему кода в 1959 г., Ичас /25/ отметил в ее развитии три периода: "Первый из них – период неопределенности; в это время выдвигались различные предположения, ни одно из которых не было, однако, достаточно конкретным и потому не поддавалось проверке".

Второй период – оптимистический; начало ему положила работа Гамова, опубликованная в 1954 г. Код, предложенный Гамовым, обладал вполне определенными характеристиками, и это, естественно, вызвало у многих исследователей желание доказать ошибочность данной гипотезы, благодаря чему обсуждение всех этих вопросов приобрело уже гораздо более точный характер.

Благодаря новым методам и экспериментальным данным, появившимся позднее, проблема кода приобрела несколько иной характер – все силы были направлены на идентификацию кодонов и аминокислот.

Генетический код

В 1961 г. Крик и Бреннер /26/ экспериментально показали, что каждая из 20 основных аминокислот представлена в генетическом коде триплетом нуклеотидов. Однако гораздо более трудной задачей было расшифровать генетический код, т.е. выяснить, какой аминокислоте соответствует каждый из 64 возможных триплетов. Триплеты условились обозначать тремя заглавными буквами, причем левая буква соответствует 5^I концу, а правая – 3^I концу.

Естественно, наиболее прямым путем к расшифровке генетического кода было бы сравнение нуклеотидной последовательности ДНК или m-РНК с соответствующим полипептидным текстом, хотя из-за технических трудностей этот путь не представлялся возможным вплоть до 1969 г. Однако к этому времени генетический код был уже давно расшифрован.

Новый подход к расшифровке кода появился в конце 50-х годов, когда, с одной стороны, было показано, что в определенной точке полипептидной цепи мутантного белка одна аминокислота замещает другую, присутствующую в белке дикого типа, а с другой стороны, были расшифрованы механизмы спонтанного и индуцированного мутагенеза. Например, если мутация, приводящая к замене аминокислоты α на аминокислоту β, была индуцирована мутагеном, вызывающим транзиции азотистых оснований, то это означает, что кодоны, соответствующие ами-

нокислотам α и β, имеют два общих нуклеотида, а третий нуклеотид у обоих кодонов либо пуриновый, либо пиримидиновый. Если другая мутация, индуцированная мутагеном, вызывающим транзиции, приводит к замене аминокислоты α на аминокислоту γ, это значит, что кодоны, соответствующие аминокислотам β и γ, имеют один общий нуклеотид и различаются двумя другими нуклеотидами.

Анализируя известные замены аминокислот в мутантах белка и сопоставляя их с предполагаемыми замещениями нуклеотидов, вызвавших мутации в соответствующих генах, в принципе, можно построить схему взаимоотношений между аминокислотами и кодонами. Анализируя эту схему, можно попытаться расшифровать генетический код. Впервые такие попытки были сделаны Виттманом /27/, Цугитой и Френкель-Конратом /28/.

Другая возможность для установления генетического кода появилась в 1955 г. после того, как Грюнберг-Манаго и Очоа /29/ обнаружили бактериальный фермент, названный полирибонуклеотидфосфорилазой, и способный осуществлять *in vitro* синтез полирибонуклеотидных цепей.

Полирибонуклеотидфосфорилаза образует полирибонуклеотидные цепи со случайной последовательностью оснований, причем относительное содержание различных нуклеотидов в синтезированном полинуклеотиде соответствует соотношению различных рибонуклеозиддифосфатов в смеси субстратов, добавленных к ферменту.

В 1964 г. была опубликована выполненная в 1962 г. работа Чавчанидзе и Квинихидзе /30/, в которой сделана попытка индивидуализации каждого триплета, т.е. расшифровки генетического кода согласно алфавиту, предложенному в 1958 г. С

этой целью были проанализированы данные по расшифровке кода *m* – РНК - аминокислота, опубликованные в работах Виттмана /31,32/, Крика /26/, Очоа /33-35/, Смита /36,37/, Ниренберга /38/.

Установление кодового соответствия производилось на основании точной оценки относительной доли появления аминокислот в смесях с соотношением

У:Ц=5:1, У:А=5:1, У:Ц:А=5:1:1.

Кодирующие триплеты разделились на две группы: триплеты, содержащие два одинаковых основания, и триплеты, все три основания которых различны. Согласно постулату I триплеты первой группы могут кодировать две аминокислоты, тогда как триплеты второй группы могут кодировать три аминокислоты. Кроме того, вероятность появления триплета $\left|\begin{matrix}\alpha\\ \alpha\\ \beta\end{matrix}\right|$ вдвое больше вероятности появления триплета $\left|\begin{matrix}\alpha\\ \beta\\ \alpha\end{matrix}\right|$.

Считалось также, что при дезаминировании вероятность замещения Ц → У вдвое больше, чем вероятность замещения А → (Х) → Г, так как вторая реакция замещения идет в два этапа.

Вдвое больше также вероятность замещения основания, расположенного на краю триплета.

Генетический код, построенный на основе схемы кода 1958 г. с учетом имевшихся к 1962 г. экспериментальных данных /30/, отличался от кодов Очоа и Ниренберга лишь в трех местах: для глутаминовой кислоты, лизина и пролина. Это те именно места, в которых кодоны не содержат У : $\left|\begin{matrix}\text{Г}\\ \text{Ц}\\ \text{Ц}\end{matrix}\right|$ – для глутаминовой кислоты, $\left|\begin{matrix}\text{Ц}\\ \text{Г}\\ \text{Г}\end{matrix}\right|$ для лизина и $\left|\begin{matrix}\text{Ц}\\ \text{Ц}\\ \text{Ц}\end{matrix}\right|$ – для пролина. Как выяснилось впоследствии из эксперимента, триплет $\left|\begin{matrix}\text{Ц}\\ \text{Ц}\\ \text{Ц}\end{matrix}\right|$

действительно кодирует пролин, а глицин кодирует триплет $\begin{vmatrix} Г \\ У \\ Г \end{vmatrix}$.

Позднее, в 1966 г., была опубликована статья Чавчанидзе /21/, в которой описан генетический код, построенный на основании Постулата K и на основе анализа последних экспериментальных данных.

Однако все еще не было предложено строгого критерия для установления кодового соответствия. В большинстве случаев кодовое соответствие устанавливалось по принципу количественной близости между процентным содержанием некоторой аминокислоты в осадке и процентным содержанием триплетов в затравочном полинуклеотиде. Такой способ установления соответствия нельзя считать достаточно точным, так как для каждого отдельного эксперимента значительную роль могут играть различные примеси ("шумы"), что может вызвать большой разброс результатов отдельных экспериментов. В целях устранения субъективного элемента, связанного с принятием решения о том или ином соответствии триплет оснований - аминокислота, Чавчанидзе с сотрудниками /39/ был использован один из методов статистической теории решений /40/.

Определение наилучшей оценки в подобной задаче зависит от многих факторов: от величины "потерь", обусловленных различным весом ошибок; от вероятностей возникновения различных сигналов; от характеристики шумов, искажающих или маскирующих сигнал. Используя теорию статистических решений, установили кодовое соответствие для 33 триплетов, кодирующих 19 аминокислот (для метионина соответствие не найдено). Полученные данные /41/ позволили также предсказать, что глицин кодируется триплетом $\begin{vmatrix} Г \\ Г \\ Г \end{vmatrix}$, хотя в затравочной смеси содержание Г было очень низким.

Окончательное соответствие между триплетами оснований и аминокислотами было установлено Ниренбергом /42/ и Корана /43/, /44/ в 1964 году. Генетический код приведен в таблице 2. Принцип построения этой таблицы, значение которой для биологии можно сравнить со значением периодической системы элементов для химии, был предложен Криком.

Генетический код обладает следующими особенностями:

1. Код вырожден.
2. Код имеет определенную структуру.
3. Код содержит три "бессмысленных" кодона, играющих терминирующую роль:

Таблица 2.

Генетический код

	У	Ц	А	Г	
У	фен фен лей лей	сер сер сер сер	тир тир Non 2 Non 1	цис цис Non3 три	У Ц А Г
Ц	лей лей лей лей	про про про про	гис гис глн глн	арг арг арг арг	У Ц А Г
А	иле иле иле мет	тре тре тре тре	асн асн лиз лиз	сер сер арг арг	У Ц А Г
Г	вал вал вал вал	ала ала ала ала	асп асп глу глу	гли гли гли гли	У Ц А Г

Исследования эволюции биологического кода

В последние годы, в связи с расшифровкой биологического кода, возник большой интерес к изменениям, происшедшим в биологическом коде в процессе эволюции, и к связанным с ними изменениям в первичной структуре белка /45-48/.

Существует ряд гипотез относительно эволюции структуры биологического кода /45-54/. Особый интерес, с нашей точки зрения, представляют гипотезы Джукса /47,48,52-55/, Крика /45,46,50/, Рейхенберга /56/.

Согласно гипотезе Джукса, первоначально код был дуплетным, в состав белка входило лишь 16 аминокислот, для кодирования которых достаточно было двух оснований в кодоне. Третье основание в этот период, возможно, играло лишь роль запятой. Появление "новых" аминокислот: аспарагина, глутамина, метионина, тирозина и триптофана - обусловило возникновение сильно вырожденного триплетного кода в том виде, в каком он существует в настоящее время. Гипотетический "первичный" дуплетный код и результат его позднейшей эволюции приведены в таблице 3.

Вторая гипотеза - гипотеза "виляний" /45,46,50/- заключается в том, что код всегда был триплетным, однако первоначальная вырожденность кода была намного больше. В дальнейшем при возникновении новых аминокислот вырожденность кода уменьшилась, чем и объясняется его неравномерная вырожденность, имеющая место в настоящее время.

Гипотеза "виляний", предложенная Криком /46/, объясняет сильную вырожденность кода в отношении третьего положения в кодоне (3' - конец), что приводит к эквивалентности У и Ц, а также А и Г (или А, У и Ц) в третьем положении кодона.

Еще одна гипотеза относительно эволюции кода принадлежит И.Рейхенбергу /56/. Рейхенберг высказал мысль, что для большинства кодонов изменение одной из трех букв приводит к минимальному изменению природы аминокислот. В связи с этим аминокислоты были разделены на 4 класса: гидрофобные, полярные, положительно заряженные и отрицательно заряженные.

Более подробно вопросы эволюции кода и обусловленной кодом первичной структуры белка, а также вопросы, связанные с предшественниками таких белков, как миоглобин, гемоглобин, цитохром С и т.п., рассматриваются в работах /49,57,58/.

Производя обобщение введенных выше обозначений, представим пурины в виде одноместного предиката $P = Q_1 \vee Q_2$, подразумевая, что в данном случае несущественно, какой именно из пуринов - аденин или гуанин, присутствует в полинуклеотиде. Аналогично пиримидины - цитозин или тимин (урацил) - могут быть представлены следующим образом: $\overline{P} = Q_3 \vee Q_4$.

В виде одноместного предиката $R = Q_1 \vee Q_4$ обозначим то место в триплете, где с равной вероятностью могут присутствовать А или С, аналогично $\overline{R} = Q_2 \vee Q_3$.

В некоторых случаях вообще не имеет значения, какое из оснований присутствует в триплете, важно лишь то, что это место в последовательности не пустует, тогда символически это запишем так: $\check{Q} = Q_1 \vee Q_2 \vee Q_3 \vee Q_4$ (или $\check{Q} = P \vee \overline{P}$, а также $\check{Q} = R \vee \overline{R}$).

Согласно введенным выше обозначениям триплет оснований записывается в виде вектор-столбца, имеющего ранг три. Каждая аминокислота кодируется триплетами, число которых меняется от 1 (метионин, триптофан) до 6 (лейцин, серин, аргинин). Так, например, фенилаланин кодируют два триплета $\begin{vmatrix} У \\ У \\ У \end{vmatrix}$ и $\begin{vmatrix} У \\ У \\ Ц \end{vmatrix}$, в наших обозначениях это может быть записано так:

$$\Psi_{фен} = \begin{vmatrix} Q_4 \\ Q_4 \\ Q_4 \end{vmatrix} \vee \begin{vmatrix} Q_4 \\ Q_4 \\ Q_3 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} Q_4 \\ Q_4 \\ \overline{P} \end{vmatrix}$$

Для проверки гипотез эволюции структуры биологического кода нами были проанализированы известные экспериментальные данные о первичной структуре инсулина, адренокортикотропного гормона (АКТГ) и цитохрома С различных животных /59/.

С этой целью все случаи замещений аминокислот в этих белках были разбиты на три группы. К первой группе были отнесены все те случаи, когда триплеты, кодирующие эти аминокислоты, различались одним основанием. Ко второй группе были отнесены те случаи, в которых аминокислоты принадлежали к одному классу, зависящему от структуры радикала. В третьей группе оказались все остальные аминокислотные пары (табл.4). В первой группе оказалось 32 пары аминокислот, во второй группе - 18, а в третьей - 13 пар аминокислот.

Исследуя замещения аминокислот первой группы, приведенные в первом столбце табл.3, пришли к интересному заключению, а именно: осуществляя обобщенную запись триплета, обнаружили, что в некоторых случаях пара аминокислот полностью описывается обобщенным триплетом: тре - ала, сер - ала, ала - вал, сер - тре, лиз - асн, глу - гли, асн - сер, тир - фен.

В других случаях обобщенный триплет содержит в себе кроме двух составляющих исходную пару аминокислот, еще один или два триплета, кодирующих третью аминокислоту, а именно: илей - вал и мет, илей - тре и мет, глу - ала и асп, ала - асп и глу, глу - вал и асп, глу - гли и асп, сер - гли и арг.

Таблица 3

Гипотетический "первичный" дуплетный код и его позднейшая эволюция

Дуплет	Первичная аминокислота*)	Добавление к коду	Новая аминокислота
АА	лиз	Ц или У	асн
АЦ	тре		
АГ	сер, арг		
АУ	иле	Г	мет
ЦА	гис	А или Г	гли
ЦЦ	про		
ЦГ	арг		
ЦУ	лей		
ГА	асп, глу		
ГЦ	ала		
ГГ	гли		
ГУ	вал		
УА	терминация	Ц или У	тир
УЦ	сер		
УГ	цис	Г	три
УУ	фен		

*) Аминокислоты обозначаются общепринятыми трехбуквенными символами.

Сравнивая полученные тройки аминокислот с гипотетическим "первичным" дуплетным кодом (табл.3), приходим к следующему заключению: третья аминокислота является либо "новой", возникшей позднее и вызвавшей тем самым усложнение кода, как это имеет место в случае метионина, либо принадлежит в паре с другой аминокислотой из полученной тройки к группе "первичных" аминокислот: пары сер, арг и асп, глу.

На основании вышесказанного можно сделать заключение, что эволюция кода, возможно, явилась следствием точечных мутаций, приводящих к транзициям (но не трансверсиям !) в первичной структуре нуклеиновых кислот.

Анализ пар аминокислот, приведенных во втором столбце табл.4, дает следующие результаты: пары асп - глу, ала - вал, сер - тре, асн - сер полностью описываются обобщенным триплетом. В остальных случаях обобщенный триплет содержит дополнительно один или несколько триплетов, кодирующих одну - вал - иле и мет, гли - сер и арг, тре - асн и лиз, или несколько (3) аминокислот: тре - гли и ала - арг - сер, гли - асн и лиз - глу - арг.

Очевидно, что полученные на основании концептуального подхода группы аминокислот не относятся к одной структурной группе, как этого можно было бы ожидать, поэтому можно сделать предположение, что замещения, объединяющие сходные по структуре аминокислоты, вызваны не точечными мутациями в нуклеиновых кислотах, а причинами иного характера, скрытыми в самой структуре белка.

Что же касается замещений, приведенных в третьем столбце табл.4, то никаких заключений относительно эволюции кода на основании этих данных сделать нельзя.

Полученные результаты позволили предсказать возможные пути эволюции биологического кода.

Таблица 4

Замещения аминокислот, наблюдавшиеся в А-цепи инсулина, АКТГ и цитохроме С (числа в скобках указывают частоту встреч данных пар)

№№ пп	Пары аминокислот, кодоны которых различаются одним основанием	Пары аминокислот, принадлежащие одной структурной группе	Остальные пары аминокислот
I.	иле - вал (4)	вал - иле (5)	вал - тре (2)
2.	тре - ала (3)	гли - сер (2)	асн - ала (I)
3.	иле - тре (3)	асп - глу (2)	сер - асп (I)
4.	сер - ала (3)	ала - вал (2)	ала - глн (I)
5.	глу - ала (3)	сер - тре (2)	глу - тре (I)
6.	ала - асп (2)	ала - лей (I)	глу - сер (I)
7.	ала - вал (2)	тре - асн (I)	глу - асн (I)
8.	сер - тре (2)	тре - гли (I)	гли - лиз (I)
9.	лиз - асн (2)	гли - асн (I)	про - глу (I)
I0.	глу - глн (I)	асн - сер (I)	гис - три (I)
II.	глу - вал (I)		мет - глн (I)
I2.	глу - гли (I)		глн - вал (I)
I3.	сер - гли (I)		
I4.	асн - сер (I)		
I5.	тир - фен (I)		

Литература

I. J.D.Watson, F.H.C.Crick - Nature, v.171,738-740 (1953).

2. J.D.Watson, F.H.C.Crick - Nature, v.171,964-967(1953).

3. J.D.Watson, F.H.C. Crick - Cold Spring Harbor Simp, v. 18, 123 (1953).

4. H.G.Wittman - Z.Vererbungslehre, v.93, 491-530 (1962).

5. R.V.Eck - J.Theoret. Brol, v.2, 139-151 (1962).

6. М.В.Лучник. Статистический анализ проблемы аминокислотного кода. Труды института биологии АН СССР, Уральский филиал, вып.37, Свердловск, I963.

7. C.R.Woese - Genetic Code:the molecular basis for genetic expression, Harper, Ney York, 1967.

8. Л.Б.Борисов, И.С.Фрейдлин. Краткий справочник микробиологической терминологии, "Медицина", I975.

9. G.Camov - Nature, v. 173, 318 (1954).

I0. G.Gamov - Kgl.Dansk, Videnskab. Selskab, Biol.Medd.v.22, 1-13 (1954).

II. G.Gamov, M.Yčas - Proc.Nat.Acad.Sci.US, v.41,(1011-1019) 1955.

I2. F.H.C.Crick, J.S.Griffith, L.E.Orgel-Proc.Nat.Acad.Sci. US, v.43, 416-421 (1957).

I3. S.W.Golemb, L.R.Weloh, M.Delbrück - Kgl.Danske Videnskab. Selskab Biol.Med., v.23, 1-34, 1958.

I4. В.В.Чавчанидзе. Биофизика, № 3, 39I-395 (I958)

I5. D.Schwartz - Proc.Nat.Acad. Sci. US, v.41,300-307,1955.

I6. M.Yčas - Nature, N88, 209-212, 1960.

I7. M.Yčas - J.Theoret.Biol N 1,244-257, 1961.

I8. M.Yčas - Intern Rev.Cytol, v.13, 1-37, 1962.

I9. M.Ageno - Nature, v.195, 998-999, 1962.

20. С.Голдман. Теория информации, М., ИЛ, I957.

2I. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.44, № I, I966.

22. Крамер Ф. Соединения включения. ИЛ, М., I958.

23. R.Karnap - Logical foundations of Probability, v.1, Chicago Univer.Press.

24. М.Ичас. Биологический код, "Мир", М., I97I.

25. F.H.C.Crick - Brokhaven Symp. Biol., v.12,35-38,1959.

26. F.H.C.Crick, H.Barnett, S.Brenner, R.J.Watts-Tobin,Natu- I92, I227-I232, I96I, Молекулярная генетика, "Мир", М., I963.

27. H.G.Wittmann-Virology, v.12, 609-612 (1960).

28. A.Tsugita, D.T.Gish,J.Yong, H.Frankel-Conrat,c.a.Knight, W.M.Stenley-Proc.Nat.Acad.Sci. US, v.46, 1463-1469,1960

29. M.Grunberg-Manago, S.Ochoa-J.Am.Chem.Soc., v.77,3165-3166, (1955).

30. В.В.Чавчанидзе, К.С,Квинихидзе. Сообщения АН ГССР, т.34, № 2, I964.

3I. H.G.Wittmann-Naturwissenschaften, Heft 24,730-737,1964.

32. Г.Г.Виттманн. Изучение корреляции между нуклеиновой кислотой и белком в ВТМ, У МБК, I Симпозиум, I96I.

33. P.Lenguel, J.F.Speyer, S.Ochoa-Proc.Nat.Acad.Sci.US, v.47, N 12, 1936-1942, 1961.

34. J.F.Spreyer, P.Lenguel, C.Basilio, SOchoa-Proc.Nat. Acad. Sci. US, v.48, N 1, 69-68, 1962.

35. P.L.Lenguel, J.F.Speyer, O.Basilio, S.Ochoa-Proc. Nat. Acad. Sci. US, v.48, N 2, 282-287, 1962.

36. A.Smith - Proc,Nat.Acad.Sci.US, v.48, N4,677-683,1962

37. A.Smith-Proc.Nat.Acad.Sci.US, v.48, N 5,1962.

38. M.W.Nirenberg, T.H.Matthaev,Proc-Nat.Acad.Sci.US v.47, N 10, 1588-1602, 1961.

39. В.В.Чавчанидзе, К.С.Квинихидзе, М.В.Ханджалашвили. Сообщения АН ГССР, т.45, № 3, 1967.

40. Дж.Г.Траксел, Дж.Пейделино. Теория решений. Приспособливающиеся автоматические системы, ИЛ, М., 1963.

41. К.С.Квинихидзе. О применении теоретической кибернетики к кодовым проблемам. Диссертация, Тбилиси, 1970.

42. M.W.Nirenberg,P.Lend--, Science, v.145, 1399-1407 (1964).

43. H.G.Khorana. - Federation Proc. v.24,1473-1487 (1965).

44. The Genetic code. Cold Spring Harbor Simposia Quant. Biology, 31, Cold Spring Harber, Ney Yourk 1966.

45. F.H.C.Cric. Nabure 213, 119 (1967).

46. F.H.C.Crick. J.Mol.Biol. 19, 548 (1966).

47. T.H.Jukes. Biochem.Biophys.Res.Comm.24,744 (1966).

48. T.H.Jukes. Molecules and Evolution 74. Columbia Univ. Press. N-Y., 1966.

49. Ф.Липманн. В сб. "Происхождение предбиологических систем", "Мир", М., 1966.

50. F.H.C.Crick. J.Mol.Biol. 38, 367 (1968).

51. L.Orgel. J.Mol.Biol. 38,381 (1968).

52. T.H.Jukes.Biochem.Biophys.Res.Commun.19,391 (1965).

53. T.H.Jukes. IEG N 7, N 749, 1967.

54. T.H.Jukes. Am.Scientists 51, 1963.

55. Т.Джукс. В сб. "Происхождение предбиологических систем", "Мир", М., 1966.

56. J.Rechenberg.Dissertation. Technical Univ.Berlin.1967.

57. Э.Цукеркандль, А.Полинг. В сб. "Горизонты биохимии". "Мир", М., 1964.

58. М.Эйген. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. "Мир", М., 1973.

59. Т.Г.Катамадзе, К.С.Квинихидзе, В.В.Чавчанидзе. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект (концептуальный подход). Тбилиси, 3-8 сентября, 1976 г.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОПОДОБНЫХ СИСТЕМ

Чумбуридзе И.Ш.

В последнее время все большее внимание уделяется исследованиям некоторых фундаментальных принципов функционирования нейронных структур, лежащих в основе самоорганизации систем и организации поведенческих актов. Успешное решение этих проблем позволило бы вплотную подойти к созданию общей теории организации и функционирования механизмов нервной деятельности, а также создало бы возможность для решения ряда технических задач по разработке надежных, самоуправляемых кибернетических систем на принципиально новых теоретических основах.

Успехи кибернетического подхода, использующего функциональное моделирование при решении ряда технических проблем, привели к его применению в исследованиях механизмов высшей нервной деятельности. Поскольку переработка информации в нервной системе происходит, в основном, в ее структурных элементах - нейронах, особое внимание исследователей привлекли нейроны и нейронные структуры. Основная идея использования кибернетического подхода к рассматриваемой нейрофизиологической проблематике заключается в возможности разработки определенной модели-аналога нервной клетки и использовании ее в качестве элемента для построения различных систем, исследуя которые можно выявить свойства и принципы функционирования, присущие объекту моделирования.

Такой подход в качестве средства предполагает метод математического моделирования, одним из направлений которого является формально-логическое моделирование, преследующее цель создания функциональных моделей из формализованных элементов, пригодных для воспроизведения принципов функционирования нейронных структур.

Этот подход, называемый бионическим, служит для построения технических систем на принципах, используемых в биологических системах. Он заключается в том, что некоторые, наиболее характерные, существенные проявления деятельности реального нейрона (вне зависимости от их физиологической, физической и химической природы) в несколько идеализированном (или, точнее, формализованном) виде берутся как свойства некой абстрактной модели. Затем с помощью соответствующего математического аппарата ищутся такие формы организации этих моделей, которые соответствовали бы также формализованным принципам функционирования нейронных структур. При таком подходе нервные клетки - нейроны в определенной мере рассматриваются с позиции черного ящика, так как в этом случае исследователей интересуют только зависимости между входными и выходными сигналами, а не происходящие в клетке био- и электрохимические процессы, определяющие функциональные характеристики нейрона. При этом предполагается, что поскольку формализованные модели характеризуются аксиоматическим подобием с объектом моделирования, то и проявляемые ими в результате исследования функционально-структурные свойства могут в определенной мере быть присущи реальным объектам. Рассматриваемый подход удобен тем, что позволяет избегать многочисленных физиологических подробностей, которые невозможно учесть в рамках аксиоматики модели.

Исследования, проводимые в лаборатории нейрокибернетики

ИК АН СССР в течение ряда лет, имели своей целью разработку единых аналитических и машинных методов расчета сетей из нейроподобных элементов и построение моделей случайных нейронных сетей, способных к обучению некоторым функциям поведенческого типа (классификация, распознавание, условный рефлекс и т.п.).

В качестве структурного элемента исследуемых моделей использовалась модель-аналог нервной клетки, называемый формальным нейроном Маккалока-Питтса. Это пороговый логический элемент с известными структурно-функциональными свойствами, адекватность которых свойствам физиологического нейрона достаточно полно исследована /I-7/. Мы пользовались следующими графическими и символьными обозначениями формального нейрона, называемого далее просто "нейроном" или "нейроподобным элементом" (рис.I)

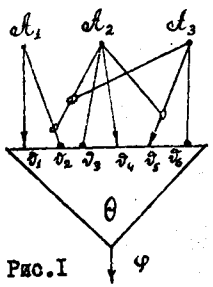


Рис.I

$\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \mathcal{A}_3$ - входы нейрона;

ϑ_i - весовые коэффициенты волокон ($i = 1,2,\ldots,6$)

φ - выходная функция нейрона;

θ - значение порога.

Тормозящее волокно оканчивается стрелкой, а возбуждающее - кружочком. Запрещающее волокно оканчивается на запрещаемом петлей.

Конфигурацией входов (входной конфигурацией) будем называть возможный набор входных состояний нейрона. Ясно, что в случае трех входов будем иметь $2^3 = 8$ входных конфигураций.

Входная конфигурация способна вызвать возбуждение нейрона, если поступающее при этом на нейрон суммарное возбуждение

будет больше или равно значению порога: $\sum_{i=1}^{\ell} \vartheta_i \geq \theta$, где ℓ - число входных волокон.

Разработанные нами методы расчета нейронных сетей основаны на аналитическом вектор-матричном представлении логических переменных и функциональной активности нейронов и сетей. Они отличаются наглядностью, алгоритмической простотой и удобны для машинной реализации. Кроме того, они позволяют эффективно осуществлять необходимые вычислительные операции для реализации процессов обучения сетей на ЭВМ.

Аналитические методы в применении к исследованию нейронов.

Как известно, нейрон при любом состоянии реализует определенные логические функции, зависящие от конфигурации входов. Для представления логических функций, выполняемых нейронами, обычно используются диаграммы Венна, дающие наглядное, графическое предоставление о высказываниях /3/. Однако для большого числа входов (более 5) наглядность диаграмм Венна совершенно теряется.

Профессором В.В.Чавчанидзе был предложен аналитический способ описания характеристик логических переменных и сложных высказываний /8/, который нами был применен в качестве математического аппарата для исследования активности нейронов и нейронных сетей /6,7,9,I0/.

Согласно аналитической теории алгебры высказываний (или аналитической логике) /8/, полный класс высказываний подразделяется по одному признаку - истинности высказывания. В соответствии с этим вводятся обозначения: σ - полное множество всех истинных высказываний; Λ - пустое множество относительно истинных высказываний.

Если высказывание $x \in \sigma$, то в отношении истинности оно может быть описано вектором состояния $\Psi(x)$ вида:

$$\Psi(x) = \begin{vmatrix} \sigma \\ \Lambda \end{vmatrix}$$

В случае принадлежности x множеству Λ, в отношении истинности оно опишется вектором $\Psi(\bar{x})$ (отрицание $\Psi(x)$)

$$\Psi(\bar{x}) = \begin{vmatrix} \Lambda \\ \sigma \end{vmatrix}$$

Операции над σ и Λ подчиняются обычным для множеств правилам:

$$\begin{array}{ll} \sigma + \sigma = \sigma & \Lambda + \Lambda = \Lambda \\ \sigma + \Lambda = \Lambda + \sigma = \sigma & \sigma \cdot \sigma = \sigma \qquad (*) \\ \sigma - \Lambda = \sigma & \sigma \cdot \Lambda = \Lambda \cdot \sigma = \Lambda \\ \sigma - \sigma = \Lambda & \Lambda \cdot \Lambda = \Lambda \end{array}$$

Высказывания, определяющие состояние самой логической переменной, назовем базисными высказываниями, а высказывания, составленные из логических переменных с использованием логических операций - сложными.

Соответственно, вектора $\Psi(\check{x}_i)$, определяющие состояние переменных $\check{x}_i$ (знак $\vee$ означает, что $\check{x}_i$ может принять одно из двух значений: либо x_i, либо $\bar{x}_i$), назовем базисными векторами состояний.

Состояния истинности $\Psi(Q)$ сложных высказываний Q, составленных из переменных $\check{x}_i$, описываются вектор-матрицей состояний, получаемой путем проведения требуемых логической формой операций над элементами базисных $\Psi(\check{x}_i)$ с соблюдением приведенных правил $(*)$. При этом операции конъюнкции и дизъюнкции заменяются соответственно операциями умножения и сложения; операция отрицания (дополнения) позволяет осуществлять пе-

реходы от σ к Λ и наоборот. Например, вектор-матрица состояния истинности сложного высказывания

$$Q = x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2$$

получится следующим образом:

$$\Psi(Q) = \Psi(x_1) \cdot \Psi(\bar{x}_2) + \Psi(\bar{x}_1) \cdot \Psi(x_2) =$$

$$= \begin{vmatrix} \sigma \\ \sigma \\ \Lambda \\ \Lambda \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Lambda \\ \sigma \\ \Lambda \\ \sigma \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Lambda \\ \Lambda \\ \sigma \\ \sigma \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \sigma \\ \Lambda \\ \sigma \\ \Lambda \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Lambda \\ \sigma \\ \Lambda \\ \Lambda \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Lambda \\ \sigma \\ \sigma \\ \Lambda \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Lambda \\ \sigma \\ \sigma \\ \Lambda \end{vmatrix}$$

Согласно полученной вектор-матрице, высказывание Q истинно в двух случаях: когда x_1, истинно, а x_2 ложно; или когда x_1 ложно, а x_2 истинно.

В случае n логических переменных для описания состояний истинности образуемых ими сложных высказываний вводятся $2n$ базисных векторов состояний $\Psi(\check{x}_i)$ $(i=1,2,\ldots,n)$ с числом строк $R = 2^n$, называемым рангом (или размерностью) вектора состояний. Каждый вектор $\Psi(\check{x}_i)$ содержит равное количество σ и Λ, расположенных аналогично распределению I и 0, в принятых таблицах истинности логических переменных, но в обратном порядке (такое разбиение элементов $\Psi(x_i)$ не является категоричным, оно берется для удобства аналогий и как дань привычным представлениям алгебры логики). Задав базисные вектора состояний логических переменных, следуя указанным правилам, можно довольно просто описать состояние истинности любой сложной логической функции, выразив ее вектор-матрицей с размерностью, соответствующей базисным векторам состояний.

Применение аппарата аналитической логики для анализа активности нейронов и нейронных сетей требует внесения некоторых

предварительных замечаний. Прежде всего необходимо отметить, что в случае нейронов роль логических переменных играют состояния входов нейронов: переменная $\mathcal{A}_i$ будет характеризовать наличие возбуждения на i-м входе, а $\bar{\mathcal{A}}_i$ – отсутствие возбуждения.

Для описания логического функционирования нейрона, имеющего n входов, вводим $2n$ базисных векторов состояний входов нейрона размерности 2^n. Логические функции, реализуемые нейроном, характеризуют ту конфигурацию входов, т.е. фактически говоря, ту совокупность логически возможных состояний входных сигналов, при которых нейрон выдает возбуждение (срабатывает) при заданном уровне порога. Они описываются с помощью вектор-матриц состояний (ВМС) нейрона $\Psi(\mathcal{N})$. Зная ВМС нейрона, не составляет труда и обратная задача – восстановить те входные конфигурации, при которых нейрон срабатывает, т.е. найти реализуемую им логическую функцию в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы. Для этого в ВМС нейрона достаточно отметить только те строки, которые содержат σ, и просмотреть соответствующие им по номеру строки в базисных векторах состояний: наличие в них σ или $\wedge$ определит состояние соответствующего входа.

Если базисные $\Psi(\check{\mathcal{A}}_i)$ нейрона с n входами свести в таблицу, то получим конфигурационную матрицу входов нейрона КМ (n), состоящую из n столбцов и 2^n строк (таблица I). Она является основным элементом при определении состояния функциональной активности нейрона в виде соответствующей ВМС: j-я строка $\Psi(\mathcal{N})$ однозначно характеризует состояние нейрона при конфигурации входов, записанной в j-й строке КМ (n) (j = I,2, ..., 2^n).

Таблица I

№ \ Ψ	$\Psi(\mathcal{A}_1)$	$\Psi(\mathcal{A}_2)$	...	$\Psi(\mathcal{A}_{n-1})$	$\Psi(\mathcal{A}_n)$
1	σ	σ	...	σ	σ
2	σ	σ	...	σ	∧
3	σ	σ	...	∧	σ
4	σ	σ	...	∧	∧
5	⋮	⋮		⋮	⋮
2^{n-2}	σ	σ	...	∧	∧
$2^{n-2}+1$	σ	∧	...	σ	σ
⋮	⋮	⋮		σ	∧
				∧	σ
2^{n-1}	σ	∧	...	∧	∧
$2^{n-1}+1$	∧	σ	...	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
$3\cdot 2^{n-2}$	∧	σ	...		
⋮	∧	∧	...	σ	σ
				σ	∧
				∧	σ
2^n	∧	∧	...	∧	∧

Как нетрудно видеть, из КМ (n) легко "выкраиваются" КМ (I), КМ (2),..., КМ (n -I). Так, например, КМ (m) состоит из 2^m строк и m столбцов КМ (n): ($n - m$ + I), ..., (n - I), n.

В соответствии с приведенным описанием, вводятся также пороговые и порядковые ВМС нейрона /6/. Сравнение элементов пороговой ВМС, содержащей числовые значения приходящих на нейрон возбуждений при различных входных конфигурациях, с порогом нейрона θ, позволяет легко определить ВМС при заданном значении порога.

Методы расчета нейронных сетей.

Под нейронной сетью понимается совокупность взаимосвязанных, взаимодействующих нейронов, предназначенная для приема,

переработки и выдачи дискретной информации.

По характеру организации взаимосвязей и функционирования сети можно подразделить на два основных класса: детерминированные и случайные. Детерминированной является сеть, в которой связи между элементами и их взаимодействие предопределены заранее, а следовательно, могут быть описаны в рамках используемого математического аппарата. Функционирование такой сети вполне предсказуемо и может быть рассчитано в форме принятых математических соотношений.

Что касается случайных сетей, то они могут характеризоваться как случайным характером организации связей (т.н. стохастические сети), так и случайным характером функционирования. В последнем случае имеем дело с вероятностными сетями, характеризующимися вероятностным описанием процессов переработки информации.

Сети, как детерминированные, так и случайные, могут характеризоваться самой различной формой и структурой организации связей. Они, как правило, имеют уровневую (рядную или ранговую) организацию. В каждом ряду помещается определенное количество элементов, называемое иногда шириной данного ряда. Ширина ряда может оставаться постоянной или меняться определенным образом. Это, в свою очередь, определяет постоянство или изменчивость числа функциональных входов нейронов, а следовательно, и размерность их ВМС. Связи между нейронами сети могут быть самыми разными: прямые (от нейронов предыдущего - к нейронам последующего ряда), опережающие (через ряд и более), обратные (с выхода на вход сети, между уровнями сети, с выхода на вход нейрона и т.п.).

Сеть имеет определенное число входов $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \ldots, \mathcal{A}_n$, по

которым она получает внешнюю (по отношению к сети) информацию в виде набора двоичных сигналов, и выходов $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_m$.

Что касается нейронов сети, то их функционирование описывается двойственным образом: оно зависит как от непосредственных (функциональных) входов, т.е. связей, идущих к ним от других нейронов, так и от входов сети $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \ldots, \mathcal{A}_n$. В первом случае нейрон реализует логическую функцию, описываемую вектор-матрицей состояний (ВМС) - $\Psi(\mathcal{N})$, а во втором - т.н. выходную функцию, или просто "выход", описываемый выходной вектор-матрицей состояний (ВВМС) нейрона $\varphi(\mathcal{N})$.

Расчет сети состоит в определении ВМС нейронов и нахождении на их основе ВВМС с использованием соответствующего алгоритма. ВВМС выходных нейронов сети играют роль выходов сети. Размерность их, определяемая числом входов сети, в общем случае может и не совпадать с размерностью $\Psi(\mathcal{N})$.

Если наложить определенные ограничения на структуру сети (ширина рядов, количество входов и выходов, характер связей и т.п.), то получаем различные типы сетей. По сложности и принципиальным трудностям описания функционирования, сети можно подразбить на два основных структурных класса: регулярные сети, не содержащие обратных связей, и нерегулярные сети с обратными и опережающими связями /5,7/.

<u>Регулярные сети.</u> Первоначально нами были разработаны методы расчета и алгоритмы различных типов регулярных сетей, таких как: ранговые сети типа Маккалока /3/, пирамидные (сужающиеся или расширяющиеся) сети и, наконец, нерегулярные сети произвольной структуры /II/. Наиболее простыми являются алгоритмы расчета ранговых сетей, характеризующихся одинаковым количеством нейронов в каждом ряду (ранге), равным числу входов сети.

В пирамидных сетях число нейронов от ряда к ряду уменьшается или увеличивается на определенное число элементов, в конечном счете доходя до одного или начинаясь одним элементом (хотя последнее не является принципиальным ограничением). Выходами сети служат выходы нейронов последнего ряда. Принципиальным различием ранговых сетей от пирамидных является то, что в них все ранги сети имеют одинаковую ширину, следовательно, все ее элементы принимают возбуждения от одинакового количества нейронов, т.е. имеют ВМС одинаковой размерности. А это означает, что в ранговых сетях типа Маккаллока размерности ВМС и ВВМС совпадают. Согласно классификации сетей по /5/, ранговая сеть является правильной однородной сетью, а пирамидная - правильной неоднородной. Общим для них является то, что связи от входов сети поступают только на нейроны первого ряда и каждый последующий ряд связан только с предыдущим. Обратные связи в таких сетях отсутствуют.

Для простоты описания алгоритма расчета активности пирамидных сетей примем, что в каждом последующем ряду число нейронов изменяется (уменьшается или увеличивается) на I. Так, сужающаяся n-рядная сеть с n - входами содержит n входов в первом ряду и оканчивается одним выходным нейроном. Естественно, что для расширяющейся сети имеем обратную картину. Следовательно, число нейронов в каждом j - м ряду сужающейся сети будет составлять ($n-j+1$), которые (начиная с третьего ряда) будут иметь число входов, равное ($n-j+2$) /7/. Это различие в количестве входов нейронов разных рядов обусловливает и различие размерностей их ВМС, что, разумеется, не распространяется на размерности ВВМС.

Для расчета активности ранговых сетей сначала по приведен-

ному правилу для всех возможных 2^n конфигураций входов нейронов вычисляются логические функции, реализуемые каждым из нейронов сети в виде соответствующих ВМС $\Psi(\mathcal{N}_{ij})$, где $i = 1,2,\ldots,$ n - номер нейрона в ряду, а $j = 1,2,\ldots, k$ - номер ряда. Затем вычисляются выходы нейронов в виде соответствующих ВВМС. Для этого вводится понятие общего набора. Общим набором для n нейронов называется совокупность из n элементов σ и Λ, содержащихся в одинаковых по номеру строках ВМС этих нейронов. n нейронов в предельном случае могут иметь 2^n различных общих наборов, представляющих собой, фактически, последовательности из σ или Λ, соответствующие определенным строкам КМ нейрона с n входами /3,7/.

Выходы нейронов сети находятся последовательно по рядам. Зная выходы нейронов первого ряда $\varphi(\mathcal{N}_{11}), \varphi(\mathcal{N}_{21}), \ldots, \varphi(\mathcal{N}_{n1})$, совпадающие с их ВМС, и ВМС нейронов второго ряда $\Psi(\mathcal{N}_{12}), \Psi(\mathcal{N}_{22}), \ldots,$ $\Psi(\mathcal{N}_{n2})$, определяются выходы нейронов второго ряда; затем, на их основе - выходы нейронов третьего ряда и т.д. Формализованно эту процедуру можно представить как решение т.н. векторного уравнения

$$\varphi(\mathcal{N}_{ij}) = \Psi(\mathcal{N}_{ij}) \cdot \left[\varphi_{1,j-1}, \varphi_{2,j-1}, \ldots, \varphi_{n,j-1}\right],$$

элементами которого являются ВМС и ВВМС нейронов.

"Решение" этого уравнения алгоритмически представляется следующим образом. Поочередно просматриваются строки $\Psi(\mathcal{N}_{ij})$ и отмечаются те из них, которые содержат σ. Затем в выходах нейронов предыдущего ряда $\varphi_{1,j-1}, \varphi_{2,j-1}, \varphi_{3,j-1}, \ldots, \varphi_{n,j-1}$ ищутся такие общие наборы, которые соответствуют последовательности σ и Λ в строке КМ нейрона $\mathcal{N}_{ij}$, совпадающей по номеру со строкой $\Psi(\mathcal{N}_{ij})$, содержащей σ. При обнаружении такого набора (или наборов), записывается σ в строку (строки) $\varphi(\mathcal{N}_{ij})$,

соответствующую по номеру найденному общему набору (наборам). Эта процедура повторяется для всех случаев обнаружения $б$ в $\Psi(\mathcal{N}_{ij})$, заполняя таким образом $б$ -ми необходимое количество строк $\varphi(\mathcal{N}_{ij})$; в остальные строки автоматически записывается $\wedge$.

Таким образом, каждая строка $\varphi(\mathcal{N}_{ij})$, содержащая $б$, соответствует той начальной для сети входной конфигурации сигналов, при которой данный нейрон срабатывает (возбуждается). Переходя поочередно от ряда к ряду, находим ВВМС всех нейронов сети, вплоть до выходного нейрона. ВВМС последнего указывает на характер функционирования всей сети при всех возможных конфигурациях состояний входных сигналов. Так, наличие $б$ в I строке ВВМС выходного нейрона означает, что сеть выдает возбуждение при наличии сигнала на всех его n входах. Если $б$ содержится во II строке, сеть отвечает реакцией при наличии сигнала на (n - I) входах $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \ldots, \mathcal{A}_{n-1}$ и отсутствии сигнала на входе $\mathcal{A}_n$. Наличие $б$ в последней строке ВВМС выходного нейрона указывает на спонтанное функционирование нейронов сети (при отсутствии сигналов на ее входах).

Обобщение приведенного выше алгоритма расчета ранговой сети на случай сужающихся пирамидных сетей не представляется сложным /7,II/. Для нахождения φ_{ij} пользуемся КМ входов нейронов данного конкретного ряда j . Для этого на основе базисных векторов $\Psi(\mathcal{A}_1), \Psi(\mathcal{A}_2), \ldots, \Psi(\mathcal{A}_n)$ в соответствии с программой происходит формирование КМ (n) наибольшей размерности ($2^n \times n$), из которой в дальнейшем по мере необходимости "выкраиваются" КМ нейронов последующих рядов по указанному выше правилу.

Расчет выходов нейронов I и II рядов осуществляется из-

вестным способом. Начиная с III ряда для нахождения выходов нейронов решается векторное уравнение

$$\varphi_{is} = \Psi_{is}\left[\varphi_{1,s-1}, \varphi_{2,s-1}, \ldots, \varphi_{n-s,s-1}\right],$$

где $s = 1, 2, \ldots, (n-2)$; $i = 1, 2, \ldots, (n-s-1)$.

Для этого просматриваем построчно ВМС Ψ_{is} . При обнаружении $б$ в ℓ -ой строке Ψ_{is} ($\ell = 1, \ldots, 2^{n-s}$), в выходах нейронов предыдущего ряда ищутся общие наборы, соответствующие входной конфигурации, записанной в ℓ -ой строке КМ $(n-s)$. При обнаружении таковых, заполняются $б$ -ми строки φ_{is} , соответствующие по номеру строкам ВВМС нейронов предыдущего ряда, в которых были обнаружены искомые общие наборы. Исчерпав все строки Ψ_{is} , содержащие $б$, получим искомые φ_{is} . Таким образом находим все $\varphi_{1s}, \varphi_{2s}, \ldots, \varphi_{n-s-1,s}$ данного ряда. Используя найденные ВВМС s -го ряда, переходим к вычислению выходов нейронов ($s+1$) -го ряда. Так последовательно находятся ВВМС всех нейронов сети.

В случае расширяющейся нейронной сети, начинающейся одним нейроном с одним входом и оканчивающейся n нейронами n -го ряда, нейроны каждого j -го ряда получают возбуждения от ($j-1$) нейронов предыдущего. Ясно, что в этом случае размерность ВМС нейронов I и II рядов равна 2, а функционирование нейронов j -го ряда описывается ВМС с $\mathcal{R}_{ij} = 2^{j-1}$, (i = I,2,..., j).

Для расчета такой сети, как и раньше, составляется КМ (n) с размерностью ($n \times 2^n$), где n - максимальное число входов нейронов данной сети. КМ (I), КМ (2),..., КМ (j),..., КМ ($n-1$) входов, характеризующих нейроны сети, представляют соответствующие подтаблицы КМ (n). Пользуясь КМ (j), определяются ВМС Ψ_{ij} всех нейронов сети, а для нахождения выхода φ_{ij} (i = I,

$2, \ldots, j$; $j = 1, 2, \ldots, n$) описанным выше способом решается соответствующее векторное уравнение

$$\varphi_{ij} = \Psi_{ij}\left[\varphi_{1,j-1}, \varphi_{2,j-1}, \ldots, \varphi_{j-1,j-1}\right].$$

Приведенные алгоритмы без особого труда обобщаются для анализа активности регулярных детерминированных сетей произвольной структуры без наложения каких-либо ограничений на структуру связей, число функциональных входов нейронов, число входов и выходов сети, характер уменьшения или увеличения количества нейронов в рядах и пр. /7,II/.

Действительно, поскольку число непосредственных (или функциональных) входов каждого нейрона в рассматриваемых сетях всегда равно числу нейронов предыдущего ряда, то ширина строки КМ входов данного нейрона однозначно соответствует длине искомых общих наборов в ВВМС нейронов предыдущего ряда. Так что расчет регулярных детерминированных сетей практически не представляет никаких принципиальных трудностей, какой бы сложной по структуре (в рамках введенной классификации) ни была нейронная сеть. В этом случае расчет сети связан с решением векторного уравнения

$$\varphi(\mathcal{N}_{ij}) = \Psi(\mathcal{N}_{ij}) \cdot \left[\varphi(\mathcal{N}_{1,j-1}), \ldots, \varphi(\mathcal{N}_{k,j-1})\right]$$

где k – число элементов ($j-1$) -го ряда.

Нерегулярные сети. Необходимость введения опережающих и обратных связей в структуры из нейроподобных элементов возникает при моделировании с помощью таких структур тех или иных нейрофизиологических феноменов /I2,I3,I4/, а также при решении технических задач с использованием формальных нейронов в качестве элементов вычислительных систем. Поэтому моделирование

сетей с опережающими и обратными связями приобретает все больший интерес. Функционирование таких сетей характеризуется определенными принципиальными особенностями, вызванными спецификой изменения во времени структуры сети и активности ее элементов /I5/.

В связи с этим возникает необходимость обязательного введения фактора времени при анализе активности нейронных сетей. Если при отсутствии опережающих и обратных связей аналитическая логика дает интегральную, как бы "статическую" картину активности нейронной сети, зависящую только от изменения порогов нейронов, то при наличии указанных связей характер функционирования сети, т.е. выходы нейронов, резко зависят от времени. Поскольку, согласно аксиоматике формального нейрона, передача возбуждений от нейрона к нейрону происходит с определенной задержкой во времени, принятой за единицу, то функциональное состояние нейронов сети необходимо описывать в дискретные моменты времени $t_0, t_1, t_2, t_3, \ldots$, где момент времени t_0 условно принимается за начальный. При этом в каждый дискретный момент времени t_j на входы нейрона поступают возбуждения от n_i нейронов, сработавших в предыдущем такте времени.

Наличие опережающих и обратных связей делает число входов нейрона переменной величиной, ибо эти связи играют роль равноправных функциональных входов сети. Это, в свою очередь, вызывает изменение размерностей $\Psi(\mathcal{N})$. При этом в каждый момент времени мы имеем дело с новой структурой связей, которые необходимо учитывать при описании функционирования сети. Но можно подойти к вопросу и с другой точки зрения – принять структуру связей постоянной, учитывая в каждый момент времени функциональное состояние поступающих на нейрон связей /7/.

Помимо приведенных общих закономерностей, сами по себе опережающие и обратные связи отличаются определенным своеобразием влияния на структуру сети и ее функционирование.

При описании функционирования сетей с опережающими связями понятие рядности в нейронных сетях становится в определенной степени условным. Действительно, опережающая связь от входа сети, допустим, на выходной нейрон, способная возбудить последний уже в момент времени t_1, в функциональном отношении ставит его в один ряд со входными нейронами сети. В общем случае, когда выходы нейронов каждого ряда могут служить входами нейронов всех остальных рядов, порядок функционирования нейронов может быть самым различным, не соответствующим первоначально приписанной им рядности. При этом, в каждый момент времени мы имеем дело с определенным, характерным для данного момента, функциональным состоянием входов нейронов, определяющим их активность. Это обстоятельство вносит определенные коррективы в приведенные выше алгоритмы при расчете сетей с опережающими связями. В этом случае возможно вместо двухиндексной нумерации нейронов $\mathcal{N}_{ij}$ (по рядам и внутри ряда) ввести линейную нумерацию $\mathcal{N}_i$ от I до m (где m – максимальное число нейронов сети). Затем для каждого нейрона устанавливается возможное число входов, или нейронов n_i, от которых он получает возбуждения. Это число определяет размерность $\mathcal{R} = 2^{n_i}$ ВМС $\Psi(\mathcal{N}_i)$ и КМ входов данного нейрона – КМ (n_i). Затем, в соответствии с описанным выше правилом, по пороговой ВМС определяется вид всех $\Psi(\mathcal{N}_i)$ сети. Согласно используемому далее подходу, структура связей нейрона считается закрепленной, постоянной во времени. Поэтому вид вектор-матрицы состояний нейрона $\Psi(\mathcal{N}_i)$ сохраняется неизменным во времени. Для каждого момента времени (или такта) t_j определяется множество $\mathcal{M}\{\mathcal{N}\}_{t_j}$ элементов сети, которые могут сработать в рассматриваемом такте. Для определения выходной вектор-матрицы состояний $\Psi(\mathcal{N}_i)_{t_j}$ нейрона $\mathcal{N}_i$ в рассматриваемый момент времени t_j исходим из его ВМС $\Psi(\mathcal{N}_i)$, конфигурационной матрицы входов КМ (n_i) и вида ВВМС в предыдущий момент t_{j-1} тех n_i нейронов, которые замыкаются на $\mathcal{N}_i$. В остальном, алгоритм определения выходов нейронов остается таким же, как в случае регулярных сетей. Действительно, при этом вновь устанавливается однозначное соответствие между длиной строки КМ (n_i) входов каждого нейрона $\mathcal{N}_i$ и шириной общего набора (числом n_i функциональных входов нейрона) в ВВМС нейронов, посылающих к $\mathcal{N}_i$ возбуждения.

Следовательно, для нахождения $\Psi(\mathcal{N}_i)_{t_j}$ необходимо, следуя описанному ранее алгоритму, решать уже временное векторное уравнение следующего вида:

$$\Psi(\mathcal{N}_i)_{t_j} = \Psi(\mathcal{N}_i)\left[\Psi(1)_{t_{j-1}}, \Psi(2)_{t_{j-1}}, \ldots, \Psi(n_i)_{t_{j-1}}\right].$$

Отметим некоторые особенности алгоритма. Опережающая связь от входа сети $\mathcal{A}_s$ на какой-либо нейрон внутри сетевой структуры рассматривается как возбуждение, поступающее от гипотетического нейрона с ВВМС, повторяющее базисную ВМС данного входа – $\Psi(\mathcal{A}_s)$. Если сеть организована так, что некоторые нейроны, имеющие структурную связь с $\mathcal{N}_i$, в момент времени t_{j-1} функционально не могут быть активны, то при определении $\Psi(\mathcal{N}_i)$ в момент t_j их выходы принимаются за логическое "противоречие" и выражаются соответственно ВВМС, состоящей целиком из Λ.

Если принять ярусную структуру организации нейронной сети и представить, что на входы сети, начиная с некоего начального момента t_0, сигналы поступают постоянно в каждый такт, то опе-

режающие связи будут влиять на характер функциональной активности сети только в первые (к-I) тактов, где к - принятое число рядов. Затем функционирование сети "выравнивается" и остается одинаковым при постоянстве всех прочих структурных параметров сети. Таким образом, в общем случае принципиально можем иметь последовательность из $\mathcal{F}_1, \mathcal{F}_2, \ldots, \mathcal{F}_k$ различных выходных функций сети. Если же игнорировать первые (к-I) моментов времени, опережающие связи, в пределах приведенных допущений, не отражаются на характере функциональной активности сети. В этом случае для описания и расчета сетей можно пользоваться приведенными в предыдущем разделе алгоритмами расчета регулярных сетей произвольной структуры и соответствующими программами.

Поскольку алгоритмы расчета сетей с опережающими и обратными связями во многом сходны, остановимся на той особенности, которую вносят в функционирование сети обратные связи в виде петель. Обратные связи в сетях могут замыкаться на самых различных уровнях: от выхода сети на входные нейроны, внутри рядов, от выхода нейрона на его вход и т.п. Принято за длину петли обратной связи считать число нейронов, включенных в сеть последовательно.

Поскольку обратная связь играет роль равноправного функционального входа, то нейрон $\mathcal{N}_i$ с n входами и m числом обратных связей должен рассматриваться как ($n+m$) входовый нейрон. Поэтому функционирование такого нейрона опишется ВМС с размерностью $2^{(n+m)}$. При определении же выхода нейрона в t_j момент времени, необходимо учитывать его ВМС (которая, как и в случае сетей с опережающими связями, является неизменной во времени), КМ ($n+m$) его входов и вид выходных ВМС в момент t_{j-1} ($n+m$) нейронов, посылающих возбуждения на $\mathcal{N}_i$. Обозначим через $\varphi(1)_{t_{j-1}}, \varphi(2)_{t_{j-1}}, \varphi(3)_{t_{j-1}}, \ldots, \varphi(n)_{t_{j-1}}$ выходы нейронов, посылающих на $\mathcal{N}_i$ сигналы по прямым связям, а через $f(1)_{t_{j-1}}, f(2)_{t_{j-1}}, \ldots, f(m)_{t_{j-1}}$ - по обратным связям. Тогда, решая алгоритмически векторные уравнения для разных моментов времени в виде следующих рекуррентных соотношений

$$\varphi(\mathcal{N}_i)_{t_{j+1}} = \Psi(\mathcal{N}_i)\left[\varphi(1)_{t_j}, \ldots, \varphi(n)_{t_j}, f(1)_{t_j}, \ldots, f(m)_{t_j}\right],$$

находим последовательно $\varphi(\mathcal{N}_i)_{t_1}, \varphi(\mathcal{N}_i)_{t_2}, \ldots, \varphi(\mathcal{N}_i)_{t_j}, \ldots$ выходы рассматриваемого нейрона ($j = 0, 1, 2, \ldots$). Эта последовательность может либо повторяться с некоторым периодом T , либо принять некоторый постоянный характер.

Удобство и эффективность разработанных методов расчета нейронных сетей состоит в том, что используемый алгоритм расчета является общим (универсальным) для всех типов сетей и не требует никакого искусственного уравнивания размерности ВМС нейронов.

Для расчета нейронных сетей с вероятностным функционированием входов используются введенные профессором Р.В.Чавчанидзе т.н. стохастические переключательные функции для вероятностных аргументов /I6/. В случае нейронных сетей аналогично $\Psi(\check{\mathcal{A}}_i)$ вводятся вероятностные базисные $\Psi(\check{P}_i)$, элементами которых являются $\check{P}_i$ - вероятность срабатывания i -го входа, подчиняющаяся условию нормировки: $\overline{P}_i = 1 - P_i$. Для описания функционирования таких вероятностных сетей достаточно в соответствующих логических формах совершить переход от детерминированных переменных ($\check{\mathcal{A}}_i$) к вероятностным ($\check{P}_i$), соблюдая определенные правила кодировки и подстановки альтернативных значений (P_i , либо $\overline{P}_i$) в зависимости от рассматриваемого набора входных аргументов.

Для нахождения вероятностной ВВМС нейрона необходимо реализуемую им ВВМС в случае детерминированных входов расписать

в соответствующей логической форме и произвести замену $\Psi(\check{A}_i)$ на соответствующие $\Psi(\check{P}_i)$. Выполнив при этом диктуемые аналитической формой математико-логические операции над вектор-матрицами, получим реализуемую нейроном вероятностную ВЕМС, в строках которой будут записаны вероятности срабатывания нейрона при соответствующей входной конфигурации /17/.

Нами разработаны алгоритмы расчета всех описанных классов сетей и соответствующие программы на языке "АЛГОЛ" и "ФОРТРАН", реализованные на ЭВМ "БЭСМ-4", М-220 и GE-130/7,18/.

Модели случайных нейронных сетей, имитирующих некоторые поведенческие функции.

Приведенные методы расчета нейронных сетей позволили эффективно решить ряд задач, связанных с моделированием на ЭВМ различных нейронных сетей, способных реализовать требуемое поведение /7,19-22/. Хотя свойства моделей нейронов и нейронных сетей в определенной мере отличаются от их биологических прототипов, тем не менее могут быть построены нейронные сети, которые при соответствующем обучении оказываются способными проявлять определенные "познающие" способности и выразить их соответствующей выходной реакцией /7,20,21/. Это утверждение подкрепляется соображениями о том, что логические основы функционирования биологических и формальных нейронных сетей аналогичны.

Если модели нейронных сетей рассматривать не только с точки зрения выполнения некоторой логической функции конкретной нейронной структурой, а определить их логические свойства:

1) топологической структурой, т.е. связями между элементами, генерирующими сигналы;
2) набором алгоритмов, управляющих генерацией и передачей сигналов;
3) набором алгоритмов преобразования свойств сети в результате ее активности -

мы получим нейронные сети, способные с достаточной степенью условности к "разумному" функционированию. Исследование таких систем уже в какой-то степени могло бы пролить свет на биологические механизмы реальных "познающих" систем, ибо они хотя бы в самой элементарной форме могут демонстрировать некоторые процессы, лежащие в основе приобретения знаний (опыта) соответствующим образом организованными объектами.

Такие сети имеют слоистую структуру. В них предполагается наличие сенсорного входа, представляющего собой некоторое множество т.н. рецепторных элементов (образующих I ряд сети), способных реагировать на сигналы из окружающей среды и выдавать на последующие структуры двоично-кодированные сигналы. Сеть имеет один или более выходных реагирующих элементов, составляющих III ряд сети, за сигналами которых могут наблюдать либо сам экспериментатор, либо некоторая автоматическая система. В нашем случае этот "надзор" осуществляется программно с помощью ЭВМ. Между входными и выходными элементами находится промежуточный слой т.н. ассоциативных элементов (II ряд), осуществляющих переработку сигналов от рецепторного слоя и выдачу сигналов на реагирующие элементы сети.

Топологическая структура сети является случайной. Класс таких сетей имеет вероятностную структуру, определяемую некоторым статистическим распределением. Логическое функционирование таких сетей не является заранее заданным, а определяется постепенно создающимся смещением (изменением) параметров нейронной сети. Следовательно, функционирование сети определя-

ется поступающими на входы сети стимулами и алгоритмом обучения, предусматривающим соответствующие преобразования и вырабатывающим необходимые "подкрепления состояний памяти".("Состояние памяти" в такой системе характеризуется соотношением весов всех связей с переменным весом в определенный момент времени).

Эксперименты с обучением такой системы связаны с приобретением и модификацией "поведения", т.е. некоторых поведенческих функций, например, типа классификации, различения, распознавания и т.п. входных стимулов /20,21/.

Под стимулом S (или событием) понимается любая конфигурация (сочетание) входных состояний сигналов, поступающих на рецепторный слой сети. Если у нас $A_1, A_2, \ldots, A_n$ входов сети, то в принципе возможны $S = 2^n$ входных конфигураций или входных стимулов сети. Эти стимулы могут объединяться во множество стимулов $\mathcal{M}(S)$ с числом элементов, меняющимся в пределе от I до 2^n. При этом конфигурация $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_n$ считается равноправным стимулом, т.к. на нее также возможна двойственная реакция сети.

Под классификацией подразумевается способность нейронной сети к выделению класса стимулов, на которые она реагирует одинаковым (эквивалентным) способом. Любая нейронная сеть с одним реагирующим нейроном способна разделить множество $\mathcal{M}(S)$ на два класса: $\mathcal{M}_1(S)$ - на которое сеть отвечает положительной реакцией, $\mathcal{M}_2(S)$ - отрицательной реакцией (не реагирует). Если множество стимулов $\mathcal{M}_1(S)$ соотнести одному образу, а множество $\mathcal{M}_2(S)$ - другому, то при правильной классификации считается, что сеть различает эти образы. Если сеть на множестве $\mathcal{M}_1$ способна различить не один, а несколько образов (то же и на множестве $\mathcal{M}_2$),

считается, что сеть распознает образы.

Число нейронов реагирующей системы определяется числом образов (или классов входных последовательностей сигналов), которые должны быть различены. При разбиении 2^n стимулов на m классов, где $2 \le m \le 2^n$, найдется такое натуральное d $(1 \le d \le m)$, что будет выполняться неравенство $2^{d-1} < m \le 2^d$. В этом случае в сети должно содержаться d реагирующих нейронов, 2^d выходных комбинаций которых сопоставимы распознаваемым образам. Существуют необходимые и достаточные условия сходимости некоторого начального состояния такой сети с заданным множеством стимулов $\mathcal{M}(S)$ и классификацией к состоянию "обученности".

Для обучения сети была использована α -система подкрепления с коррекцией ошибок, при которой величина сигнала подкрепления равна "0" до тех пор, пока текущая реакция выходного нейрона сети остается правильной. При появлении неправильной реакции знак подкрепления y определяется знаком ошибки: если вместо нулевого сигнала на выходе имеем сигнал "I", веса связей, идущих от возбужденных на данном шаге ассоциативных элементов, уменьшаются на величину y ; если же вместо "I" на выходе имеем "0" - увеличиваются на ту же величину. Следовательно, при рассматриваемой системе подкрепления изменение весов связей происходит по следующему закону. Если v_{ij} - вес связи, идущей от i -го нейрона к j -тому, то изменение Δv_{ij} будет равно: $\Delta v_{ij} = \omega_{ij} y$, где $\omega_{ij} = \begin{cases} \text{I, если } i\text{-й нейрон возбужден} \\ 0 \quad \text{- в противном случае.} \end{cases}$

Разработана программа обучения рассматриваемых сетей распознаванию классов стимулов для общего случая, реализованная на ЭВМ М-220. Показано, что структурные изменения в сети в процессе обучения носят характер увеличения или уменьшения весов

связей элементов добавлением возбуждающих или тормозящих контактов.

Помимо рассмотренной модели разработана и более общая модель случайных нейронных сетей, способных к выработке поведения условно-рефлекторного типа /7,22/. Организация сетей и используемый метод обучения, рассмотренные выше, предполагают установление условий, при которых возможно решение задачи сходимости сети к состоянию обученности. В данном же случае, задача состояла в доказательстве возможности моделирования условно-рефлекторного акта на произвольной структуре, вероятностно-статистическая организация которой в определенной мере согласуется с известными нейрофизиологическими данными.

Для выполнения поставленной задачи используемая в модели классификации входных сигналов α - система обучения оказалась совершенно не эффективной. Во-первых, потому, что предполагает изменение в процессе обучения состояния активности только элементов реагирующей системы. Во-вторых, требование выполнения условия существования классификационного решения, фактически, исключает возможность изменения реакции сети на одни и те же входные конфигурации сигналов, что является необходимой предпосылкой обучения условно-рефлекторному поведению. Поэтому попытки применения используемого в задачах классификации и распознавания алгоритма не увенчались успехом.

С использованием статистико-вероятностных методов была разработана оригинальная модель случайных сетей с вероятностно-статистической структурной организацией, подчиняющаяся известным биологическим закономерностям строения ЦНС. Механизмы и принципы, лежащие в основе выработки условных рефлексов, интерпретируются на языке модели и определенным образом формируются

/7, 22/.

Задача ставится следующим образом:

I. Основываясь на вероятностно-статистических методах, строятся случайные нейронные сети (с вероятностными характеристиками структурных элементов).

2. Исследуется начальное функционирование полученных сетей.

3. На основе некоторого алгоритма обучения программно вырабатывается у сети требуемое поведение, заложенное в "памяти" управляющей системы. На основе управляющих воздействий функционирование сети приводится в соответствие с требуемым поведением.

4. На различных стадиях обучения "снимаются картины" функциональной активности сети и регистрируется "состояние памяти" в виде происшедших в сети изменений структурных параметров в результате обучения.

5. С помощью известных методов синтеза восстанавливается картина структурных связей и весовых соотношений элементов сети, претерпевших изменения активности.

6. Анализируются полученные результаты.

Исследование активности случайных нейронных сетей, основанных на статистико-вероятностных принципах организации, показало, что такие сети, как правило, не способны дифференцировать внешние воздействия избирательной реакцией. Функционирование их приобретает черты целесообразного поведения лишь благодаря обучению.

После приведения активности сети к некоторому "исходному" состоянию, соответствующему реакции сети на безусловный раздражитель, ставилась задача обучения сети (после определенного

числа сочетаний) "условной" реакции на первоначально индифферентный раздражитель. Рассматривались также условия "угасания" и "восстановления" адекватной реакции сети на условный раздражитель, а также особенности выработки условно-рефлекторной реакции на одной и той же нейронной структуре при замене одного индифферентного раздражителя (входа сети) другим.

Обучение сети состояло в том, что в случае несовпадения действительной реакции сети с требуемой при данной входной конфигурации сигналов, элементы сети подвергались тем или иным воздействиям, соответствующим определенным нейрофизиологическим механизмам и приводящим к функциональной перестройке системы. Встает вопрос, какие же воздействия можно применять к рассматриваемой случайной нейронной структуре, чтобы вызванные изменения были адекватны известным нейрофизиологическим механизмам и приводили к наблюдаемым при этом в реальных структурах типам поведенческих актов. Первоначально мы пытались воздействовать на пороги нейронов сети, возбужденных при рассматриваемой входной конфигурации (т.е. при воздействии тех или иных входных раздражителей), изменяя их значение на $\pm$ I в зависимости от характера несоответствия реакций. Вектор-матричное описание активности нейронов и сети в целом особенно удобно для осуществления соответствующих расчетов на ЭВМ, позволяя достаточно просто осуществлять машинную реализацию требуемых в соответствии с алгоритмом обучения воздействий, получая тут же ответную реакцию сети.

В соответствии с этой реакцией происходит в дальнейшем выработка новых управляющих воздействий на рассматриваемые структурно-функциональные параметры элементов сети. Однако закон подкрепления, предполагающий изменение значений порогов нейронов,

не привел к желаемому результату. Сеть оказалась неспособной не только к выработке реакций условно-рефлекторного типа, но и к какой-либо устойчивой дифференциации реакций на входные стимулы. Уже на 5-6 шаге обучения нейроны сети, включая и $\mathcal{R}$-нейрон (аналог исполнительного органа), "впадали" в "крайние" состояния, одинаково реагируя (или не реагируя) на все входные стимулы и их сочетания. Следовательно, приобретаемая при этом чувствительность нейронов не является избирательной, в результате чего повышается вероятность реакции нейрона на любое раздражение (или их сочетание), а не на те раздражения, которые предназначены для выработки условно-рефлекторного поведения.

Выше мы говорили о безуспешности применения α-системы подкрепления /23/, используемой в модели классификации входных стимулов.

Не спасает положения и использование сочетаний α- и γ-систем подкрепления /23/, хотя в результате и достигается более тонкое управление весовыми коэффициентами активных связей. Согласно этой процедуре обучения, дополнительно к операциям, диктуемым α-системой, осуществляется изменение весов связей каждого нейрона сети на величину, равную отношению числа связей, поступающих на него от возбужденных нейронов предыдущих уровней, к общему числу имеющихся у него связей. Таким образом, общая сумма весов всех связей нейрона (и сети в целом) остается неизменной /7/. В этом случае, как и в предыдущем, после определенного числа шагов нейроны сети начинали "впадать" в крайние состояния.

Во всех описанных случаях обучения осуществляемая программой корректировка параметров нейронов являлась довольно неадекватной. Добиваясь желаемой реакции на данную входную конфигурацию сигналов, мы неоправданно меняли общую картину функциониро-

вания сети, вызывая нежелательную реакцию элементов на другие входные конфигурации. Отсюда следует, что используемые при этом методы обучения и диктуемые ими изменения структурно-функциональных характеристик сети не являются в достаточной мере адекватными реальным процессам обучения и выработки условных рефлексов в биологических структурах..

В последнем случае, в частности, предполагается, что процессы обучения (и памяти) связаны с явлением увеличения синаптических весов связей, приходящих на нейрон, способствующих усилению соответствующей синаптической активности. Результатом такого усиления может быть, в частности, возрастание числа синаптических контактов, передающих возбуждение нейрону и повышающих его функциональную активность благодаря возрастанию вероятности его срабатывания /24/.

Следует отметить, что хотя в результате применений α - и γ - систем обучения и возможно осуществление указанного механизма памяти, но при этом возможное структурирование связей очень ограничено, что было показано нами на примере модели классификации событий. Это обстоятельство и желание показать принципиальную возможность выработки свойств условно-рефлекторного поведения на произвольной нейронной структуре, заставили нас отказаться от рассмотренных методов обучения, требующих к тому же выполнения рассмотренного условия сходимости и очень ограничивающих возможный класс сетей, пригодных для обучения.

Рассмотренные выше неудачи и их анализ привели нас к необходимости разработки такого алгоритма обучения, который бы способствовал выработке у нейронов избирательной чувствительности на входные стимулы и не противоречил бы существующим в

нейрофизиологии положениям о возможных механизмах изменения структурно-функциональных характеристик нервной системы в процессе обучения и выработки определенных типов поведения (в частности, условного рефлекса). Кроме того, алгоритм обучения должен был вытекать из возможностей используемого математического аппарата и обеспечивать проведение соответствующих расчетов на ЭВМ. Руководствуясь указанными соображениями, мы обнаружили, что как содержательные предпосылки самого алгоритма, так и возможности его реализации уже заложены в разработанных нами методах анализа активности нейронных сетей.

Действительно, в способе аналитического описания логических переменных и основанных на нем расчетах функциональной активности нейронных сетей заложены возможности не только наблюдать над избирательной активностью нейронов на входные сигналы, но и вносить соответствующие воздействия с целью избирательного изменения их реакции на те или иные входные раздражители. Это обстоятельство обусловило внесение определенной изобретательности в разработку алгоритма обучения нейронов сети избирательному реагированию на данные входные конфигурации сигналов без изменения логических функций в цело (во избежание ошибочного ответа на остальные входные стимулы).

Согласно используемому нами алгоритму обучения, если выходной нейрон не дает ответного сигнала на нужную входную конфигурацию, то происходит увеличение на +I суммарного возбуждения, поступающего на невозбужденные нейроны первого уровня при данной входной конфигурации. Это может оказаться достаточным для генерирования данными нейронами сигнала на следующем шаге, а может и нет. Тогда процедура продолжается и на других этапах обучения. При этом происходит возрастание суммарного возбу-

ждения, поступающего на нейроны последующих рядов от нейронов предыдущего ряда при первой входной конфигурации. Это, в конечном счете, обеспечивает появление σ во всех $\varphi(\mathcal{N}_{ij})$ для рассматриваемой входной конфигурации. Таким образом, в процессе обучения происходит увеличение числа нейронов, реагирующих на требуемое сочетание входных сигналов. На каждом шаге происходит сравнение полученного результата с эталонной вектор-матрицей. При достижении нужного эффекта программа переключается на другую строку $\varphi(\mathcal{N}_2)$.

Если выходной нейрон генерирует "ошибочный" сигнал на рассматриваемую входную ситуацию, то программа заставляет нейроны первого ряда "замолчать" в данной ситуации. Для тех же нейронов, которые дают спонтанную реакцию в отсутствие входных сигналов, происходит увеличение порога на I с одновременным увеличением на +I суммарных возбуждений w_i ($i = 1,2,\ldots,(2^n - 1)$), где n – число входов нейрона, поступающих на нейрон при всех возможных входных конфигурациях, с целью сохранения вида вектор-матриц состояний нейронов. В конечном счете, это приведет к постепенному исчезновению спонтанной реакции нейронов на "нулевую" входную ситуацию.

Процессы "угасания" реакции на условный раздражитель сопровождаются обратными изменениями динамических параметров нейронов. Если предположить, что приобретенные значения синаптических весов нейронов, соответствующих рассматриваемой конфигурации входов, с течением времени уменьшаются, то те установленные нервные пути (связи), которыми система "не пользуется", со временем изменяются так, что вероятность их активации приблизится к первоначальной, до обучения. Что касается восстановления "условной" реакции, то предполагается, что при этом происходят

изменения энграммы, аналогичные процессу первоначального обучения реакции на условный стимул. Этим, видимо, объясняется увеличение "прочности" тех энграмм (следов памяти), к которым приходится часто обращаться в течение жизнедеятельности организма, по сравнению с редковозбуждаемыми следами.

Исходя из сказанного, при восстановлении условной реакции описанному выше воздействию подвергаются не все элементы данного уровня одновременно, а поочередно, после чего проверяется возникновение ответной реакции на условный раздражитель.

В соответствии с описанным алгоритмом была составлена машинная программа на языке "АЛГОЛ", реализованная на ЭВМ М-220 /7,22/. Программа была использована для обучения рассмотренных выше случайным образом организованных нейронных сетей, состоящих из 3 слоев, содержащих в общей сложности II рядов с переменным числом нейронов в ряду. Процесс приведения $\varphi(\mathcal{N}_2)$ к виду, соответствующему реакции на безусловный раздражитель, а затем на сочетание безусловного и условного раздражителей, занимает, в среднем, от I4 до 20 шагов; еще от 2 до 6 шагов требуется для выработки выходной вектор-матрицы состояний, соответствующей реагированию системы только на "условный" раздражитель (в отсутствие безусловного). "Угасание" и "восстановление" условно-рефлекторной реакции требуют соответственно 6 ÷ 2 и 2 ÷ 4 шага в среднем. Полученные цифры, в основном, согласуются с данными физиологических экспериментов по выработке условных рефлексов.

Примерно такие же результаты получаются при выработке условно-рефлекторного поведения на первоначально индифферентный раздражитель /7/.

Это обстоятельство не расходится с приведенными ранее ут-

верждениями о том, что нервные сети коры головного мозга являются функционально недетерминированными, динамическими образованиями, формирующимися (функционально) при появлении необходимости для выполнения определенной функции и "распадающимися" со временем в связи с исчезновением такой необходимости. При этом, одни и те же нейроны могут участвовать в образовании различных сетей (по функциональному назначению), что, видимо, значительно увеличивает материальные возможности мозга при построении различных функциональных систем.

Определенный интерес для исследования представляла обратная задача - исследование влияния вносимых в сеть в процессе обучения воздействий на ее структуру. Мы попытались на определенных стадиях обучения по виду $\varphi(\mathcal{N}_{ij})$ нейронов, претерпевших определенные изменения активности, с использованием известных методов /4,5,19,25/, синтезировать нейронные структуры, соответствующие вновь выработанным реакциям нейронов. Для этой цели на различных стадиях обучения "снимались картины" функциональной активности сети, позволяющие регистрировать на каждом шаге "состояние памяти" в виде происшедших в сети изменений структурных параметров в процессе обучения.

В результате, было установлено, что процесс обучения приводит к определенным структурно-параметрическим изменениям в сети, которые находят свои нейрофизиологические аналоги. Так, например, изменение суммарных возбуждений, поступающих на нейроны при той или иной входной конфигурации, приводит к появлению новых возбуждающих и тормозящих волокон, а также волокон типа "запрет" или "запрет запрета". То же самое имеет место при изменении порога нейронов с одновременным изменением суммарных возбуждений, поступающих при всех входных конфигурациях,

кроме "нулевого". Только в этом случае возможно обойтись без волокон типа "запрет запрета".

Логический анализ рассматриваемых процессов приводит к допущению возможности обратных морфологических изменений в нервной системе при угасании условных рефлексов, хотя это положение не имеет пока своего экспериментального доказательства. Что касается модели, то операции, предусмотренные алгоритмом, необходимо ведут к обратным изменениям динамических параметров сети, но при этом процессы "угасания" рефлекса не обязательно должны привести к исходной нейронной структуре. Если учесть известную структурную лабильность нервной системы, то последнее обстоятельство покажется не только возможным, но и совершенно оправданным. С другой стороны, согласно принятой нами формальной аксиоматике, нейрон может адекватно функционировать при различной структуре поступающих на него связей. Это обстоятельство находит свое отражение и в известных методах синтеза нейронов и нейронных сетей с заданным функционированием, предусматривающих произвольное задание значений определенного числа переменных, касающихся типа и количества нервных волокон.

Рассматриваемая модель позволяет также обосновать и не совсем понятное с биологической точки зрения связывание временными нервными связями не имеющих биологического значения для организма так называемых индифферентных раздражителей, обусловленное идентичностью протекающих в системе логических процессов, лежащих в основе выработки сетью поведения условно-рефлекторного типа.

Нам представляется, что приведенные исследования имеют определенный интерес с биологической и технической точек зрения. Если допустить, что рассматриваемые сети могут соответствовать

конкретным частям больших сетей в биосистемах, разумеется в предельно упрощенном варианте, их исследование приобретает определенный смысл и значение. Во всяком случае они позволяют получать определенные ответы на содержательные вопросы относительно различных конкретных типов организации сетей, гипотетических механизмов памяти, процессов обучения и т.п. Кроме того, полученные результаты могут иметь определенный интерес для дальнейших путей поиска механизмов памяти и обучения с целью их последующего использования при разработке технических систем специального назначения.

Литература

1. У.Маккаллок, В.Питтс. В сб. "Автоматы", ИЛ, М., 1956.
2. У.Маккаллок. В сб. "Принципы самоорганизации", М., "Мир", 1966.
3. М.Блюм. В сб. "Принципы самоорганизации", "Мир", М., 1966, 3.
4. И.Б.Гутчин, А.С.Кузичев. Бионика и надежность, "Наука", М., 1967.
5. С.О.Мкртычян. Нейроны и нейронные сети. "Энергия", М., 1971.
6. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. В сб. "Теоретические вопросы бионики", "Мецниереба", Тбилиси, 1966.
7. И.Ш.Чумбуридзе. Диссертация, Тбилиси, 1975.
8. В.В.Чавчанидзе. "Сообщения АН ГССР", т.XXXIII, № I, 1964.
9. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. Тезисы докладов Респ. конференции по технической кибернетике, Тбилиси, 1964.
10. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. "Сообщения АН ГССР", т. 46, № 3, 1967.
11. И.Ш.Чумбуридзе, Г.Н.Микашавидзе, Л.Д.Махвиладзе. Материалы У Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1970.

12. И.Ш.Чумбуридзе, М.А.Нуцубидзе, Г.Н.Микашавидзе, Н.Н.Береникашвили, А.Я.Шурупова. Материалы У Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1970.
13. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе, Г.Н.Микашавидзе, Н.Н.Береникашвили, А.Я.Шурупова. В сб. "Проблемы нейрокибернетики", РГУ, Ростов-на-Дону, 1967.
14. И.Ш.Чумбуридзе, М.А.Нуцубидзе, Г.Н.Микашавидзе, Л.Д.Махвиладзе, А.Я.Шурупова, Н.Р.Бедошвили. Тезисы докладов У Всесоюзной конференции по нейрокибернетике. Ростов-на-Дону, 1973.
15. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе, Г.Н.Микашавидзе, Н.Н.Береникашвили, А.Я.Шурупова. Материалы У Всесоюзного симпозиума по кибернетике, Тбилиси, 1970.
16. В.В.Чавчанидзе. "Сообщения АН ГССР", т.51, № 2, 1968.
17. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе. "Сообщения АН ГССР", т.58, № I, 1970.
18. И.Ш.Чумбуридзе, Г.Н.Микашавидзе. В сб. "Теоретические вопросы бионики", Тбилиси, "Мецниереба", 1966.
19. И.Ш.Чумбуридзе, Н.Н.Береникашвили, Л.Д.Махвиладзе. Тезисы докладов У Всесоюзной конференции по нейрокибернетике. Ростов-на-Дону, 1973.
20. В.В.Чавчанидзе, И.Ш.Чумбуридзе, И.Р.Киршенбаум. Тезисы докладов У Всесоюзной конференции по нейрокибернетике. Ростов-на-Дону, 1973.
21. И.Ш.Чумбуридзе, И.Р.Киршенбаум. "Сообщения АН ГССР", т.78, № [illegible], 1975.
22. И.Ш.Чумбуридзе. "Сообщения АН ГССР", т.78, № 2, 1975.
23. Ф.Розенблатт. Принципы нейродинамики. "Мир". М., 1965.
24. Дж.Экклс. Физиология синапсов. "Мир", М., 1966.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОСПРИЯТИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВ

Небиеридзе Р.Б., Качахидзе Т.О.

Изучение механизмов восприятия пространственно-временных свойств объектов важно как с теоретической точки зрения для понимания процессов преобразования информации в нервной системе, так и в практическом отношении - для разработки автоматических распознающих устройств. Кроме того, эта проблема актуальна в связи с практической задачей оптимизации кодирования зрительной информации, предъявляемой человеку - оператору./I,2,4/.

В настоящей работе изучаются принципы работы глазодвигательного аппарата человека при изменении пространственно-временных характеристик зрительных образов.

Методика

Эксперименты проводились на людях с нормальным зрением в возрасте от 20 до 35 лет. Было исследовано I0 человек. Испытуемый сидел в кресле в затемненной комнате. Голова была фиксирована. Движение глаз регистрировалось методом электроокулографии. Возникший при движениях глаза электрический потенциал подавался на вход усилителя УБП-03.

Для зрительной стимуляции испытуемого была создана специальная установка, позволяющая менять количество и последовательность зрительных стимулов на световом табло. Последнее состояло из 24 неоновых лампочек ТН-03, расположенных по горизонтали в четыре ряда по 6 лампочек на расстоянии 5^0 друг от друга. Гашение каждой лампочки совпадало с моментом зажигания последующей. Время горения каждой лампочки менялось в пределах от 0,02 до 0,2 сек.

Перед испытуемым ставилась задача следить бинокулярно за последовательностью зажигания лампочек. Время горения лампочки регистрировалось параллельно с записью движения глаза на самописце УСЧ8-03.

Результаты и обсуждение

Появление зрительного стимула на периферии поля зрения вызывает скачкообразное движение глаз с определенным латентным периодом, порядка 200-300 мсек. Для установления характера восприятия зрительных стимулов вначале мы ограничились исследованием 6 лампочек, расположенных линейно. Анализ множества записей движения глаз при всевозможных комбинациях этих лампочек показывает, что глаз может воспроизводить их местоположение и направление.

Различное положение лампочек на табло соответствует пространственной характеристике стимула, а их последовательность указывает на его временное расположение.

Для характеристики сложности задач, состоящих из разных наборов лампочек, были введены следующие параметры:
n - количество лампочек, участвующих в комбинации, K - количество изменений величины углового расстояния между зажигающимися лампочками и t - количество изменений направления последовательности зажигания лампочек.

При заданном n по таблице случайных чисел выбирались комбинации лампочек с параметрами K и t.

Анализ записей движения глаза показывает, что при построении простого зрительного образа, когда $n \leq 6$, $t=0$, $K \leq 4$, почти все испытуемые опознают комбинации и воспроизводят глазами последовательность зажигания лампочек с определенными периодами (рис.I).

При сложных комбинациях $n \leq 6, K > 1, 2 \leq t \leq 5$ испытуемые вначале стараются оценить направление последователь-

ности зажигания лампочек, а затем выявляется местоположение лампочек (т.е. угловые расстояния величины скачка глаза).

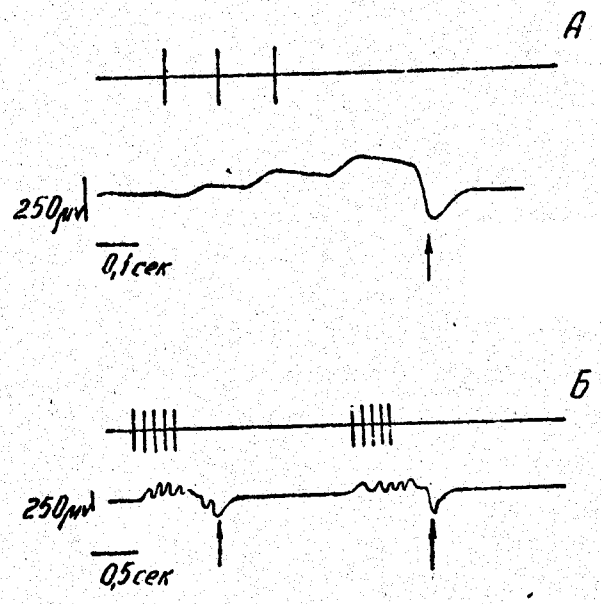


Рис.I. Типичная запись движения глаз при опознавании набора из трех (А - скачки по I0,I5,25°) и пяти (Б - скачки по 5, I0, I5, 25°) зажигающихся лампочек. Внизу — электроокулограмма, сверху — отметка моментов зажигания лампочек. Стрелка показывает возврат глаза на фиксационную лампочку.

Таким образом, при опознании пространственно-временных характеристик зрительных образов выявляется этапный характер восприятия: испытуемый оценивает сперва направление, а затем и местоположение стимула.

Во второй части экспериментов испытуемым предлагалось опознать зрительные стимулы на табло, состоящем из 24 лампочек, при дефиците времени. При малых временах экспозиции стимулов испытуемые "считывают" информацию со следа, оставшегося на счетчике /2,5/. Опрос испытуемых при всевозможных комбинациях трех лампочек из 24 показывает, что испытуемые при правильной оценке пространственных признаков стимула дают ошибочные ответы при оценке их временных характеристик.

Число правильно опознанных ответов при экспозиции лампочек I00, 50 и 20 мсек приводится в таблице I.

Таблица I.

Время экспозиции	Число правильно опознанных ответов в %	Количество испытуемых	Количество комбинаций
I00 мсек	0,59	20	20
50 мсек	0,29	I5	20
20 мсек	0,22	30	20

Как следует из таблицы, уменьшение времени экспозиции затрудняет правильное опознание зрительных стимулов. Большинство испытуемых при опознании так называемых трудных комбинаций ошибаются, заменяют искомую лампочку находящейся рядом, путают последовательность. Резкое увеличение угловых размеров между зажигающимися лампочками при экспозиции 50, 20 мсек , как правило, при опознании вызывает затруднение у испытуемых.

Легко воспринимаются те комбинации, которые были составлены из лампочек, лежащих на контуре. По-видимому, контур играет особую роль при восприятии /3/.

Ниже мы приводим графическое описание заданных и соответствующих им опознанных зрительных стимулов (рис.2.).

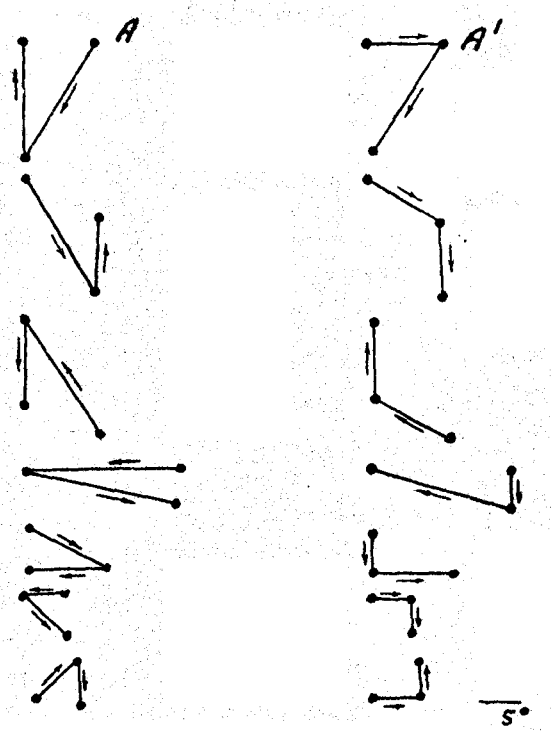


Рис.2. Графическое расположение заданных A и соответствующих им A' опознанных зрительных стимулов. Расположение фигур на рисунке соответствует местоположению зажигающихся лампочек на зрительном табло. Стрелка указывает на порядок появления стимулов, жирные точки соответствуют местоположению стимулов.

Анализ наших данных при кратковременной стимуляции образов выявил возможность оценки факторов, влияющих на перцептивную группировку элементов в зрительном поле. При этом обнаружена невозможность одновременной оценки пространственных и временных

характеристик образов. При кратковременной стимуляции вначале оценивается местоположение стимулов, а затем их последовательность, тогда как при больших временах стимуляции испытуемые стараются уловить направление зажигающихся лампочек, а потом их местоположение. По-видимому, такое отличие в механизмах опознания зрительных стимулов опирается на невозможность движения глаз при дефиците времени.

Литература

1. Власова М.М., Медведев А.Н., Рысакова С.Л. В сб. "Основные подходы к моделированию психики и эвристическому программированию". Киев, 1968, 116.
2. Глезер В.Д. Механизмы опознания зрительных образов. "Наука", М.-Л., 1966.
3. П.Колерс. В кн. "Распознавание образов", "Наука", М.,1970.
4. Шахтер М.С. Психологические проблемы узнавания. "Просвещение", М., 1967.
5. D.Y.Mewhort, P.M.Merikle, M.P.Bryden. Y.Exper. Psychology 81, №1, 1969, 89-94.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Тавдишвили О.С.

Изучение природы зрительного восприятия требует определения отношения между восприятием и стимуляцией, с одной стороны, и отношения стимуляции к внешнему миру – с другой.

Одним из основных вопросов этих отношений является вопрос отображения пространственно-временных событий внешнего мира во внутренний мир субъекта.

Данная работа опирается на известную формулу Дж. Гибсона, согласно которой восприятие является функцией стимуляции, а стимуляция – функцией окружающей среды. Отсюда вытекает, что вышеуказанная формула представляет собой последовательность звеньев, где каждое последующее звено зависит от предыдущего, оконечными звеньями являются внешний мир и восприятие, а граничным звеном – стимул, представляющий энергию /I/. При восприятии особенностью преобразования внешней энергии в возбуждение нервных клеток является изменение физической размерности сигналов как на уровне рецепторов, так и в головном мозге /2/.

Для зрительного анализатора под стимулом понимается непрерывный поток световой энергии, падающий на рецепторную поверхность, а не объект внешнего мира, расположенный в поле зрения и являющийся источником этой энергии. Получаемый при этом сетчаточный образ является последним этапом перед возбуждением фоторецепторов /I/.

В работе /3/ с помощью законов проективной геометрии для света было получено, что отображение данной пространственной точки бинокулярного поля зрения $A_k[\gamma_i(\alpha,\beta)_i]$ через оптическую систему зрительных анализаторов дает положение

сопряженных изображений a_{k1}, a_{k2} на обеих рецепторных поверхностях, которые определяются через угловые координаты $(\alpha'_{k_1}, \beta'_{k_1}), (\alpha'_{k_2}, \beta'_{k_2})$, что определяет местоположение данных изображений на сетчатках. Отображение величины γ_i, представляющей собой угол между зрительными осями при бификсации точки A_i и являющейся незрительным признаком, проявляется в аккомодационно-конвергенционных процессах, осуществляемых глазными мышцами и управляемых высшими центрами ЦНС.

Свет, представляющий собой поток фотонов, падая на фоторецепторную поверхность, вызывает процесс расщепления молекул фотореагента, что, в свою очередь, стимулирует протекание в фоторецепторах химических процессов и, в конечном счете, вызывает формирование импульсов в первом синаптическом слое сетчатки /4/. Световая энергия из точки A_k падает на фоторецепторную поверхность в данный момент времени t_k.

Таким образом, оптический стимул, с одной стороны, определяет некоторое пространственно-временное событие в зрительном поле анализатора, а с другой – соответствующее событие на рецепторной поверхности, которой соответствует определенное место и момент времени.

Обозначим соответствующие события для левого и правого анализаторов через $\sigma_{k_1}, \sigma_{k_2}$, местоположение которых определяется положением изображений a_{k_1}, a_{k_2} и соответствующими моментами времени t_{k_1}, t_{k_2}. В общем случае из-за разницы хода лучей от A_k будет иметь место соотношение $t_{k_1} - t_{k_2} \neq 0$.

Теперь, переходя от точки A_k к поверхности $[\gamma_i(\alpha,\beta)_i]$, мы имеем световую волну, структурированную микроструктурой данной поверхности /5 /. Представляя последнюю

как совокупность точек и принимая во внимание вышесказанное, мы будем иметь два поля стимулов и соответственно два поля событий $\sum_{i_1}$, $\sum_{i_2}$, где каждое событие характеризуется определенным местом и моментом времени.

Изучая процесс бинокулярного рассматривания как один из этапов зрительного восприятия пространственного объекта и имея n точек бификсации, мы будем иметь n пар пространственно-временных полей стимулов и соответственно n пар пространственно-временных полей событий на рецепторных поверхностях.

Литература

1. Дж.Гибсон. Восприятие как функция стимуляции. В сб. "Хрестоматия по ощущению и восприятию" I52, М., МГУ, 1975.
2. В.В.Чавчанидзе. В сб."Биологические принципы самоорганизации", Тбилиси,"Мецниереба", 1969.
3. О.С.Тавдишвили. Сообщения АН ГССР, т.85, № I, 1977.
4. Дж.Сомьен. Кодирование сенсорной информации. М., 1975.
5. У.Найссер. Зрительные процессы. В сб. "Восприятие". М., 1974.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭХОЛОКАТОРА КИТООБРАЗНЫХ

Зориков Т.В.

В работах предыдущих лет /2-5/, благодаря использованию оригинальных методик, в общих чертах было сформировано представление о зондирующем излучении дельфинов. Было показано, что структура локационных сигналов весьма ёмка и существенно зависит от направления излучения. Сложность зондирующих импульсов, очевидно, является результатом эволюции гидролокатора и обусловлена высокой степенью его организации. Однако при этом не исключается, что отдельные компоненты локационного поля не столь существенны и лишь отражают процесс генерации основного сигнала. Выяснение этого вопроса представляет определенный интерес для моделирования оптимальных зондирующих сигналов и может способствовать лучшему пониманию механизмов функционирования эхолокатора.

Другой не менее важной стороной моделирования гидролокатора дельфина являются исследование информативных характеристик, используемых животными при анализе эхо-сигналов. В этом направлении определенный успех был достигнут благодаря возможности вычисления звукового поля, рассеиваемого сферическими объектами /I/. Однако трудность расчета эхо-сигналов от мишеней произвольной конфигурации несколько ограничивает область применения этой методики.

В настоящей работе рассматривается возможность оптимизации зондирующих импульсов и поиска информативных признаков эхо-сигналов на основании результатов экспериментов по классификации дельфинами искусственных эхо-сигналов, пред-

ставляющих собой отражения моделируемых импульсов от различного рода мишеней. Такая постановка экспериментов позволяет управлять компонентами зондирующих сигналов, контролируя при этом качество решения классификационной задачи. Успешность дифференцировки дельфином эхо-сигналов от различных мишеней можно считать своего рода критерием оценки зондирующих импульсов, образующих сравниваемые эхо-сигналы. Последовательное изменение параметров мишеней и модулируемых импульсов позволит, по-видимому, определить для зондирующих сигналов пределы информативной полноты.

В то же время дифференцировка дельфином не мишеней, а искусственных эхо-сигналов дает возможность без труда установить связь между уровнем решения задачи и разницей в характеристиках тестовых эхо-сигналов. Сопоставляя классифицируемые и не поддающиеся классификации отражения между собой, можно будет осуществить процесс направленного поиска информативных признаков эхо-сигналов.

Дифференцировка дельфином мишеней в естественных условиях не тождественна задаче их распознавания посредством искусственных зондирующих сигналов. Это обусловлено прежде всего тем обстоятельством, что в последнем случае классификация осуществляется без участия в процессе излучателя дельфина. Неадекватность активного и пассивного режимов распознавания не сказывается на достоверности получаемых результатов. Однако этот факт может существенно снизить уровень сложности решаемой задачи. Ясно, что преимущества предлагаемой методики могут быть ощутимы лишь в случае достижения достаточно тонких дифференцировок. Выяснение этого обстоятельства составило основную цель настоящей работы.

В предварительной серии экспериментов в качестве тестовых сигналов использовались парные импульсы с варьируемым интервалом (100 мксек - положительный сигнал, 150 мксек - отрицательный). Опыты проводились с целью дрессировки животного и выяснения возможности дифференцирования дельфином акустических стимулов в режиме последовательного предъявления с использованием одного канала воспроизведения сигналов. Проведение шести опытов оказалось достаточным для достижения животным 90 % правильных реакций. Этот результат позволил в дальнейшем использовать одноканальный тракт регистрации и воспроизведения тестовых эхо-сигналов, что в свою очередь устраняло возможность влияния неоднородностей каналов на достоверность результата и избавляло от необходимости проведения контрольных экспериментов.

В экспериментах с искусственными эхо-сигналами в качестве мишеней были избраны тонкие пластинки из стали, гетинакса, оргстекла, фаянса и стали, покрытой тонким слоем резины, дающие равные по интенсивности отражения. Мишени зондировались импульсами длительностью 30-60 мксек с частотой следования 20-80 гц. Параметры зондирующих сигналов оставались неизменными в течение одного опыта. Селектируемые эхо-сигналы записывались на магнитную ленту. Неравномерность амплитудно-частотных характеристик трактов записи и воспроизведения не превышали 5 дб в полосе частот 1 - 150 кгц. При воспроизведении в вольере тестовые эхо-сигналы регистрировались из воды до эксперимента с животным. Это позволило учитывать в дальнейшей их обработке искажения, вносимые воспроизводящим трактом. На рис. 1 приведены спектры дифференцируемых дельфином эхо-сигналов.

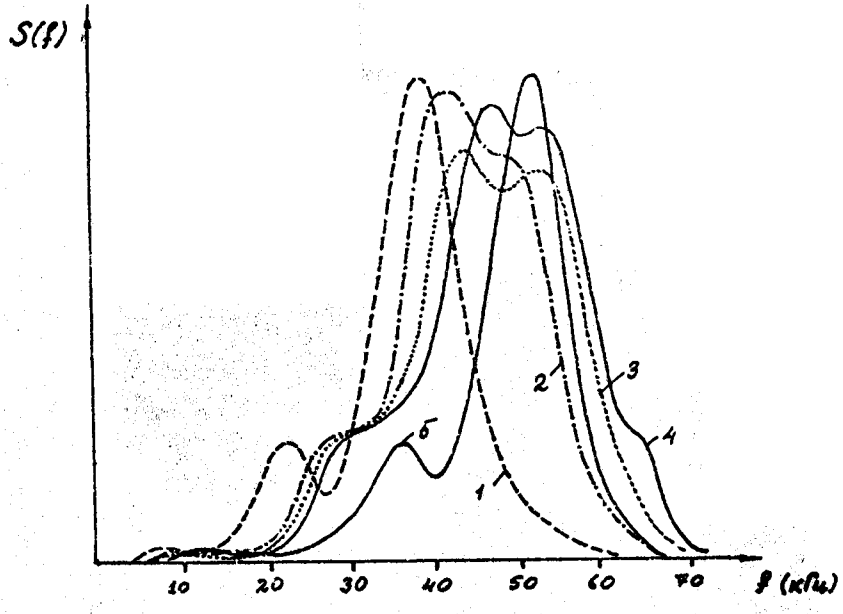


Рис.I. Спектры эхо-сигналов, отраженных от стали (I), гетинакса (2), оргстекла (3), фаянса (4), стали, покрытой резиной (5).

Во всех опытах в качестве положительной мишени использовалась стальная пластина, дифференцируемая в паре с другой мишенью. Независимо от параметров зондирующих сигналов и пар сравниваемых мишеней была достигнута высокая степень дифференцировки искусственных эхо-сигналов. Уровень правильных реакций к 250 - 300 предъявлению достигал 90-95%. Тем самым была доказана способность дельфинов классифицировать достаточно близкие по характеристикам мишени в пассивном режиме.

Литература

I. Н.А.Дубровский, П.С.Краснов. Труды Акустического института, вып. I7, I97I, 9-23.

2. Г.Л.Заславский. Экспериментальное исследование пространственно-временной структуры эхо-локационных сигналов дельфинов. Автореферат. М., I975.

3. Е.В.Романенко. Акустический журнал, т.22, вып.4, I976, 628.

4. K.Diercks, A.T.Trockta, C.F.Grunlaw, W.E.Evans. According and analysis of delphin echolocation signals. JASA, v.49, N 6, 1971 : 1729-1732.

5. A.Dziedzic, B.Escudie, A.Hellion. Methods actuelles d'analyse des signaux sonas biologiques. A.Telec. 30, 1975.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТЕЙ ДЕЛЬФИНОВ АФАЛИН К ОБНАРУЖЕНИЮ ТОНАЛЬНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Лашкарадзе Г.Д.

Исследование механизмов обнаружения источника звука морскими млекопитающими, так же как и изучение сонара этих животных, с точки зрения их вторичной адаптации к обитанию в водной среде имеет важное значение для создания бионических моделей гидроакустических систем ориентации.

В начальной стадии исследований способностей дельфинов к обнаружению источника звука ученые показали пределы воспринимаемых дельфинами сигналов; так, Кэллог /I2,I3/ в I952 году в опытах над группами афалин и гребнезубых дельфинов показал, что верхний порог слухового восприятия у них равен 80 кгц. Одновременно Шевилл и Лоуренс /I5,I6/ показали, что процент положительных реакций животного был высоким для сигналов с частотой до I20 кгц.

Оценивая частотное восприятие у афалин, Джонсон /II/ в 1967 году показал, что оно с минимальными порогами слышимости простирается в области от 75 до I50 кгц. Морозов с соавторами /7/, используя поведенческую методику, показал, что максимальная чувствительность к чистым тонам у афалин приходится на полосу частот 20-80 кгц. Некоторые исследователи указывали на возможность восприятия афалинами звуков до 500 кгц /4/.

Таким образом, вышеуказанные данные говорят о том, что частотный диапазон восприятия у дельфинов сдвинут в сторону высоких частот, что можно рассматривать как адаптацию сонара дельфина к восприятию сигналов высокой частоты.

Первые оценочные данные по точности латерализации источников звука в I959-I962 гг. были получены на морской свинье

Дюдоком /9,I0/. Источники звука предъявляли в случайном порядке по обеим сторонам разделительной сети, на одинаковых расстояниях от нее. Оказалось, что величина угла разрешения составляет I2,6; I2 и 7,9° на частотах 2; 3,5 и 6 кгц. Андерсен /8/, повторив эти опыты, показал, что точность латерализации на частоте 2 кгц у морской свиньи достигает 3°.

В дальнейшем были проведены эксперименты как с шумовыми сигналами в полосе 3-I00 кгц /5,6/, так и с моночастотными сигналами частотой 3,8 и 20 кгц. Опыты были выполнены на афалинах с использованием вышеописанной методики. Результаты этих опытов показали, что угол разрешения для всех сигналов составляет примерно I,5°.

Однако следует отметить, что все исследования по локализации звука дельфинами проведены только для моночастотных сигналов, в то время как многочисленными исследованиями было показано, что эти животные используют сигналы короткой длительности. Настоящая работа посвящена исследованию способности дельфинов определять направление на источник тонально-импульсных сигналов с различной длительностью и частотой заполнения импульса.

Эксперименты выполнены на трех хорошо адаптированных к условиям неволи афалинах. Животные были обучены подходу к источнику звука и возвращению на исходную позицию после получения пищевого подкрепления. Использовались ненаправленные сферические излучатели, идентичные по форме и размерам и отличающиеся друг друга по своим амплитудно- частотным характеристикам на 2-3 дб. Излучатели размещались симметрично относительно разделяющей их сетевой перегородки. Угол разрешения определялся длиной перегородки и расстоянием между излучателем и перегородкой. При предъявлении сигналов в соответствии с задачей эксперимента звуковое давление

было переменным. Средний уровень шума моря в период проведения экспериментов, измеренный в диапазоне частот I-50 кгц, составлял 0,II 0,II па.

В первой серии опытов изучалось влияние уменьшения длительности излучаемого в воду сигнала с частотой заполнения I0 кгц на вероятность правильного выбора направления в условиях, когда интенсивность звукового давления и величина угла разрешения были выше пороговых в 2 раза. Исследования показали, что уменьшение длительности сигнала до двух периодов, при сохранении надпороговой величины интенсивности звукового давления ($3,3 \times I0^{-3}$ вт/см^2) и угла разрешения, не привело к уменьшению вероятности правильного выбора направления на источник звука.

Во второй серии опытов изучалось влияние уменьшения длительности на вероятность правильного выбора направления в условиях, когда интенсивность звукового давления оставалась заведомо выше порогового значения, а величина угла разрешения была уменьшена до значения близкого к пороговому. Полученные данные показали, что уменьшение длительности сигнала, при сохранении надпороговой величины интенсивности звукового давления и уменьшения угла разрешения до величины близкой к его пороговому значению, не привело к уменьшению вероятности правильного выбора направления на источник звука.

В заключительной серии экспериментов изучалось влияние изменения амплитуды излучаемого сигнала на вероятность правильного выбора направления в случаях, когда величина угла разрешения была выше пороговой (7^0), а частота заполнения импульса была переменной (I0 и 50 кгц), величина угла разрешения была близкой к пороговой ($I,75^0$), а частота заполнения импульса постоянной (50 кгц). В этих опытах изменение (увеличение) амплитуды производилось пос-

ле каждого предъявления сигналов, не сопровождающегося условнорефлекторным подходом животного к месту пищевого подкрепления. Эксперимент выполнен на одном животном. Как видно из рис.I, уменьшение интенсивности звукового давления до пороговой величины для импульсов с частотой заполнения I0 и 50 кгц практически не приводит к уменьшению вероятности правильного выбора направления на источник тонально-импульсных сигналов.

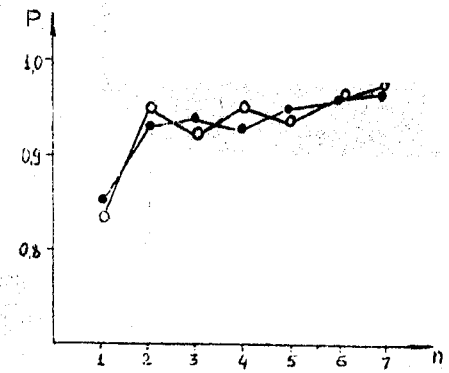


Рис.I. Вероятность правильного выбора направления на источник тонально-импульсных сигналов при пороговом значении интенсивности звукового давления и значении угла разрешения выше порогового:
n - степень двойки,
○ - частота заполнения I0 кгц,
● - частота заполнения 50 кгц.

Данные, представленные на рис.2, показывают, что одновременное снижение интенсивности звукового давления и угла разрешения до пороговых величин, как и в предыдущих сериях опытов, практически не снизило вероятности правильного выбора направления на источник тонально-импульсных сигналов в исследуемом диапазоне частот и длительности импульсов.

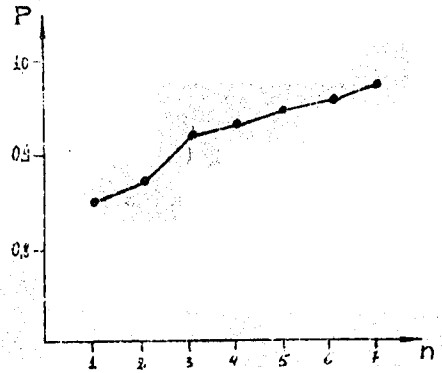


Рис.2. Вероятность правильного выбора направления на источник тонально-импульсных сигналов при пороговых значениях интенсивности звукового давления и величины угла разрешения (для частоты заполнения импульсов 50 кгц);

n - степень двойки.

Проведенные исследования показали, что для данного типа сигналов изменение частоты заполнения сигналов в исследуемом диапазоне и уменьшение длительности и амплитуды сигнала до величины близкой к пороговой не влияют на величину предельного угла разрешения.

Исходя из вышесказанного, можно отметить, что дельфины афалины обладают высокоразвитой способностью локализовать в пространстве источник тонально-импульсных сигналов.

Литература

I. Э.Ш.Айрапетянц, В.А.Воронов, Ю.В.Иваненко, М.П.Иванов, Д.Л.Ордовский, Б.Ф.Сергеев, В.И.Чилингаров. Эвол.физиол. биохим., вып.2, 1975, 418-421.

2. Ж.И.Акопян, В.И.Бурдин, К.А.Зайцев, В.П.Морозов, Ю.Соковых. Реф. докл. УШ Всесоюз.акуст.конф.,т.3, 1973, М., 9.

3. Л.Р.Гиро, Н.А.Дубровский. Морское приборостроение, сер. "Акустика", вып.2, 1972, 84-94.

4. А.Г.Голубкова, И.В.Ершова, А.Р.Жежерин. Тр. ЛИАП, вып.64,Л., 1969, 133-140.

5. С.М.Дьяченко, Л.Д.Королёв, Р.Н.Резвов, Б.К.Чемоданов. Тр. Акуст.инст.,вып.17, М., 1971, 43-46.

6. Л.Д.Королёв, Н.В.Липатов, Р.Н.Резвов, М.А.Савельев, А.Б. Фленов. Реф.докл. УШ Всесоюзн.акуст.конф.,т.I, М., 1973,133.

7. В.П.Морозов, А.И.Акопян, В.И.Бурдин, А.А.Донсков, К.А.Зайцева, Ю.А.Соковых. Физиол.журн.СССР, т.7, № 6, 1971,833-840.

8. Andersen S.J.Investigation on Cetacea, v.2,1971,p.255-259.

9. Dudok van Heel. Nature, v.183, N 4667, 1959, p.1063.

10. Dudok van Heel. 1962. J.Sea Res., N 1,1962, p. 407-507.

11. Johnson C.S. 1967. In: Marine Bio-Acoustics. Oxford , v.2 1967,p.247-260.

12. Kellog W.N. J.Comp.Physiol.Psych, v.46, 1953, p.446-450.

13. Kellog W.N.,Kohler R. Science, v.116,N8,1952, p.250-252.

14. Norries K.S. Evans W.E.,Turner R.N. In: Animal Sonal Systems. Frascat, Italy, v.1, 1967, p.409-437.

15. Scevill W.E., Lawrence B. 1953a. J.Expl . Zool., v.124, N 1, 1913, p.147-165.

16. Schevill W.E. Lawrence B. 1953b. J.Acoust. Soc. Amer., v. 25, 1955, p.1016-1017.

К ВОПРОСУ О ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СЛУХА

Сергеенко Н.Д., Степанян Л.М., Хелашвили В.С.

В работе рассматриваются деформации основной мембраны улитки уха при движении головы. Показано, что своеобразная форма улитки обеспечивает минимальность этих деформаций.

Известно, что чувствительность периферической части слухового анализатора очень высока. Ничтожные смещения основной мембраны ($\ell_1 = 10^{-9}$ см для низких и $\ell_2 = 10^{-11}$ см для средних частот) уже воспринимаются как звук. Давления, могущие вызвать эти смещения, также малы ($P = 10^{-6}$г/см^2). В этих условиях достоин удивления факт, что мы не ощущаем звуков при движении головы: ведь давление, развиваемое столбиком перилимфы (максимальная длина 3,5 см, диаметр сечения у базального конца $D_1 = 0{,}25$ см, у апикального конца $D_2 = 0{,}05$ см) при ускорениях 100-5000 см/сек^2 на несколько порядков превышает пороговое давление, вызывающее ощущение звука. Мы покажем, что нечувствительность к ускорениям обеспечивается формой улитки уха.

Предположим, что некоему конструктору поручили разработать чувствительный прибор, обладающий способностью воспринимать звук и производить частотную селекцию. Пусть ему также сообщили в самой общей форме принцип действия внутреннего уха. Будем считать, что прибор надо разместить на движущемся объекте. Простейшее устройство, которое можно сконструировать в этих условиях, вероятнее всего, совпадет с одной из простых моделей Бекеши /1/, представленной на рис.1а. На этом рисунке изображен сосуд - полуцилиндр, наполненный жидкостью. Верхняя стенка-мембрана - выполнена из эластичного материала и имеет уменьшающуюся вдоль длины толщину. Будем подразумевать, что

чувствительные элементы расположены по длине вдоль мембраны и способны реагировать на ее деформацию. Легко усмотреть, что при подаче звука с торца сосуда (через специальное окно) устройство способно реагировать на звук и производить различение по частоте аналогично естественной улитке уха. Этот прибор будет работать удовлетворительно, если он неподвижен или движется равномерно и прямолинейно, но сразу проявит свои недостатки при ускоренных движениях. На рис.1 б,в даны формы деформированной мембраны для четырех направлений вектора ускорения. Легко вычислить, что деформация особенно велика при движениях влево или вправо. Движения вверх или вниз приводят к меньшим деформациям. Если прибор имел бы размеры, близкие к размерам человеческого внутреннего уха и обладал бы такой же высокой чувствительностью по интенсивности, то вышеприведенные деформации сопровождались бы

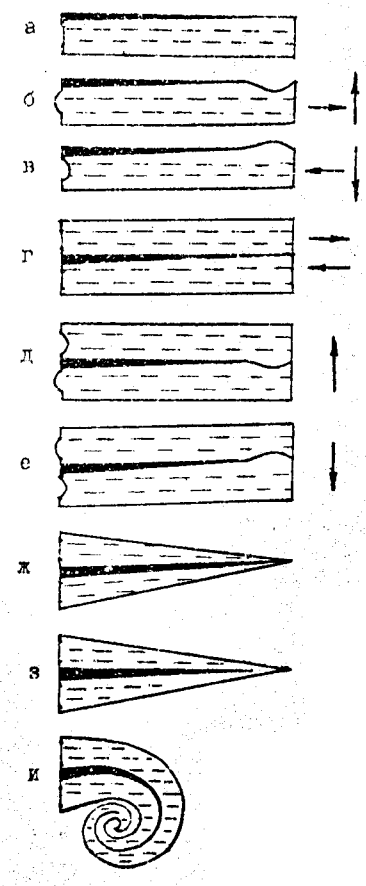


Рис.1.

субъективным ощущением звука.

Легко заметить, что при ускоренном движении особен... большую деформацию испытывает наиболее тонкая, податливая часть мембраны, т.е. часть, ответственная за ощущение низкочастотных тонов.

Прибор можно существенно улучшить, если вместо одной камеры установить две, а мембрану разместить в виде перегородки. В таком случае необходимо предусмотреть дополнительное окно - аналог круглого окна улитки. Оно совершенно необходимо для компенсации изменения объема при подаче звука, так как жидкость почти несжимаема. На рис.I г,д,е, приведены виды деформации мембраны при движениях этого усовершенствованного прибора. При движении вправо и влево на каждую точку мембраны действуют равные и противоположные силы, поэтому прибор становится нечувствительным к таким движениям. Что же касается направлений вверх и вниз, прибор сохраняет чувствительность к ним. Эти деформации при этом вызваны давлением столбика жидкости, высота которого равна высоте сосуда. Поэтому имеет смысл уменьшить высоту конца сосуда, где размещена тонкая часть мембраны. Легко заметить, что мы постепенно приближаемся к естественной форме развернутой улитки (рис.Iж).

Дальнейшего уменьшения чувствительности к ускорениям можно добиться, если у верхушки конуса, в конце мембраны проделать отверстие - аналог геликотремы (рис.Iз).

После этих изменений прибор вполне пригоден для размещения на подвижном объекте, однако ресурсы его усовершенствования далеко не исчерпаны. Если объект движется преимущественно в одном направлении, то прибор целесообразно разместить так, чтобы мембрана была ориентирована вдоль направления движения,

так как прибор не чувствителен к ускорениям, направленным вдоль мембраны. Если же объект обладает двумя степенями свободы, то выровнить характеристики прибора так, чтобы его свойства не зависели бы от направления вектора ускорения, можно путем закручивания полученного конуса в спираль (рис.Iи). Это является компромиссным решением, так как улучшение свойств при одной ориентации достигается за счет некоторого ухудшения свойств при другой ориентации. Форма плоской спирали полностью решает задачу, если движение совершается на плоскости. Биологические организмы движутся обычно в трехмерном пространстве. Следовательно, нам предстоит сделать еще один шаг в цепи усовершенствований: перейти от плоской спирали к восходящей, которая уже полностью совпадает с формой реальной улитки. Такая форма позволяет также увеличить число витков по сравнению с плоской спиралью, при прочих равных условиях. Итак, форма восходящей спирали автоматически следует из единственного требования: предохранить организм от ощущения низкочастотных звуков при ускоренных движениях в условиях, когда реальный низкочастотный сигнал отсутствует.

Мы постарались показать, что естественная форма улитки является удобной, если требуется минимизация тех деформаций мембраны, которые возникают вследствие ускоренных движений. Является ли это "удобство" единственной причиной, обусловившей эволюцию формы внутреннего уха в наблюдаемом направлении, или данная форма обеспечивает другие, дополнительные преимущества перед другими формами?

Можно назвать по крайней мере два преимущества этой формы. Во-первых, генетическая информация, необходимая для кодирования и передачи этой формы минимальна: спиральная структура

легко кодируется указанием преимущественного роста вдоль одной из образующих конуса. Форма конуса распространена в биологическом мире. Она может быть задана простым кодом, регулирующим темпы роста вдоль радиуса и высоты конуса. Во-вторых, при естественной форме улитки отводящие нервные волокна имеют минимальные длины. При этом фазовые сдвиги между сигналами с различных участков кортиева органа минимальны, что, по-видимому, существенно при бинауральном восприятии звуков.

Известно, что "шкала" частот внутреннего уха является почти логарифмической. При конической форме улитки такая зависимость получается при меньшем градиенте толщины базилярной мембраны. Цилиндрическая форма неизбежно привела бы к неравномерной чувствительности по частотам (спад чувствительности для верхних частот из-за значительного утолщения мембраны вблизи стремечка).

При распознавании сложных звуковых образов решающее значение имеет форма колебаний. Она не нарушается при умножении всех частот спектра на постоянное число, что соответствует одинаковому сдвигу всех представляющих точек вдоль базилярной мембраны, без разрушения их общей конфигурации. Этим обеспечивается одинаковое представительство во всех центральных проекционных зонах мозга звуков одинакового "образа", независимо от абсолютной ширины их спектров.

Литература

I. Г.Бекеши, В.Розенблит. Механические свойства уха. В сб. "Экспериментальная психология", ИЛ, М., 1963.

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИИ ОБЩЕСТВЕННОЙ ПОЛЕВКИ (Microtus socialis Pallas)

Цкипуришвили Д.Т.

В работе делается попытка на основе статистико-вероятностной модели динамики популяции общественной полевки /I/ объяснить такие особенности колебаний численности указанного вида, как цикличность, четырехгодичность циклов в среднем, большие и малые волны массовых размножений и разность высот их пиков, нестабильность периодов между пиками, существование локальных изменений численности и географических различий, а также тенденция совпадения больших волн. Высказываются также некоторые соображения относительно экологического и статистического направления в изучении колебаний численности мышевидных грызунов.

Согласно модели /I/, с помощью вычислительной машины проведен расчет численности общественной полевки на период 1467 лет и получена следующая теоретическая картина динамики популяции данного вида. За указанный период времени имеется 361 пик, что дает среднюю периодичность пиков в четыре года. Общая картина распределения 361 пика по интервалам между пиками представлена в таблице I. Картина же распределения пиков по плотностям дана в таблице 2.

Если плотность грызунов в пределах 4000–8000 экз/га считать малой волной численности, а 8000 экз/га и выше – большой, то средний интервал между большими волнами составляет около

10 лет. Приняв же за большую волну плотность выше 10000 экз/га, получим средний интервал в 13,7 года.

Таблица I

Распределение интервалов между пиками

Интервал между пиками /в годах/	2	3	4	5	6	7	8
Количество пиков	16	102	135	70	29	7	2
Частота пиков	0,045	0,28	0,38	0,19	0,08	0,02	0,005

Таблица 2

Распределение высот пиков

Плотность экз/га	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Количество пиков	86	44	49	32	25	18	107

Результаты расчета /табл.I и 2/ находятся в хорошем согласии с данными реальных наблюдений /2-8/. Таблица I отражает цикличность, указывает на нестабильность интервалов между пиками, дает пределы изменения и частоту периодов между максимумами численности, характерную для реальной динамики полевок. Таблица 2 показывает существование больших и малых волн численности. Полученный средний период в 4 года между пиками и 10-15 лет между большими волнами совпадает с реальными значениями указанных интервалов.

Приведенное соответствие расчетных данных с реальными да-

ет возможность объяснить особенности динамики популяции общественной полевки.

Согласно модели /I/, при учете влияния окружающей среды на процессы размножения и смертности полевок годовой цикл жизни данного вида делится на 6 двухмесячных периодов Δt_i /i=1,2,...,6/. В $\Delta t_1 = (t_1 - t_0)$ объединяется январь-февраль, Δt_2-март-апрель и т.д. Эти периоды отвечают существенным сменам образа жизни популяции. Переход от одного периода к другому сопровождается закономерными изменениями значения коэффициента размножения γ и средней продолжительности жизни τ.

Коэффициент размножения γ /(соотношение полов)×(интенсивность размножения)/ принимается за количественную оценку влияния среды на процесс размножения. Смертность же оценивается средней продолжительностью жизни τ, т.к. вероятность гибели за промежуток времени Δt определяется формулой $\Pi(\Delta t) = 1 - \exp(-\alpha \Delta t)$, где $\alpha = 1/\tau$.

Для учета вероятного многообразия изменений внешней среды в каждом двухмесячном периоде Δt_i рассматриваются по три состояния среды j_i =1,2,3 -"хорошее" /j_i=1/, "среднее" /j_i=2/ и "плохое" /j_i=3/, которым приписывается одинаковая вероятность P_{j_i} =1/3. Под "хорошим" состоянием подразумевается сочетание факторов внешней среды, обеспечивающее наибольшие значения коэффициента размножения γ и средней продолжительности жизни τ. В связи с этим считаем, что $\gamma(i,j_i) = \gamma_{ij_i}$, а $\tau(j_i) = \tau_{j_i}$.

Если записать год в состояниях, обозначив через "а" /j_i=1/ состояние с высокими значениями γ и τ, через "в" /j_i=2/ -

состояние со средними значениями γ и τ и через "с" /j_i=3/ - состояние с низкими значениями γ и τ, то получится всего 3^6=729 различных структур года, как, например, $a_1a_2a_3a_4a_5a_6$, аааааа, ... , аавссв, ... , сссссс. Эти структуры соответствуют различным комбинациям жизненных условий от "отличных" - аааааа до "очень плохих" - сссссс для γ и τ.

Так как состояния j_i равновероятны, то и все структуры года имеют одинаковую вероятность, равную I/729. Каждая структура отличается от другой минимум одним состоянием, например аааввв и ааавсс и т.д.

Для характеристики структур года введем понятие коэффициента годового роста численности Γ, который показывает, во сколько раз увеличивается начальное число полевок за год с учетом смертности. При таком определении Γ, число полевок к концу года N_6 при начальном числе N_0 равно $N_6 = N_0 \Gamma$.

Нетрудно убедиться, что Γ выражается через γ и τ следующим образом:

$$\Gamma_{j_1 \cdots j_6} = (1+\gamma_{1j_1})\varepsilon_{1j_1} \cdots (1+\gamma_{6j_6})\varepsilon_{6j_6} = \prod_{i=1}^{6}(1+\gamma_{ij_i})\varepsilon_{ij_i},$$

где $\varepsilon_{ij_i} = exp(-\frac{\Delta t_i}{\tau_{ij_i}})$ указывает долю выживших особей за период Δt_i.

Подставляя значения

γ_{ij_i} =	0.9	3,2	2,65	0,85	2,3	I,24	и	τ_{ij_i} =	8 месяц.
j_i=I,2,3	0,24	2,0	I,6	0,2I	I,3	0,6I			6 -"-
i=I,...,6	0,09	I,I	0,8	0,08	0,6	0,I8			4 -"- ,

полученные по данным реальных наблюдений в степях Ширака /9-II/, имеем 729 коэффициентов годового роста численности $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$, которые соответствуют 729 структурам года и показывают, во сколько раз может увеличиться плотность полевок за год при данной структуре в реальных условиях.

Согласно расчетам, некоторые из 729 структур характеризуются одинаковыми или близкими значениями коэффициента годового роста численности $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$. Объединив структуры с равными или близкими значениями /с точностью до целого/ $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$, построим диаграмму распределения структур года по значениям $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$.

Анализ значений γ_{ij_i} и τ_{ij_i} дает представление об изменениях $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$ при замене состояний в структурах и интервале этих изменений. Например, замена в структуре "ваваса" какого-либо одного состояния дает: $\Gamma_{вавасa}$=I3,3; $\Gamma_{вавасc}$=4,9; $\Gamma_{вавaaa}$=34,5; двух состояний - $\Gamma_{всвасc}$=I,96; $\Gamma_{aaвaaa}$=57,2. Но не всегда замена состояний меняет значения $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$, в чем легко можно убедиться с помощью диаграммы /см. рис.I/, которая показывает, какое количество структур соответствует одинаковым значениям коэффициента годового роста численности $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$. Например, 84 структуры имеют коэффициент $3 \leqslant \Gamma_{j_1 \cdots j_6} < 4$.

Диаграмма /рис.I/ показывает, что жизненные условия для существования и развития популяции общественной полевки в степях Ширака в течение года характеризуются:

I/ высоким значением коэффициента годового роста численности, $\Gamma_{j_1 \cdots j_6} \gg$ I;

2/ большим интервалом изменения $\Gamma_{j_1 \cdots j_6}$, $0,39 \leqslant \Gamma_{j_1 \cdots j_6} \leqslant 87,6$, который показывает, что по способности увеличения численности населения годы сильно могут отличаться друг от друга;

3/ значительным ростом численности полевок в подавляющем большинстве случаев: только 20 структур из 729 имеют коэффициент годового роста численности ниже единицы, $0,39 \leqslant \Gamma_{j_1 \cdots j_6} < 1$;

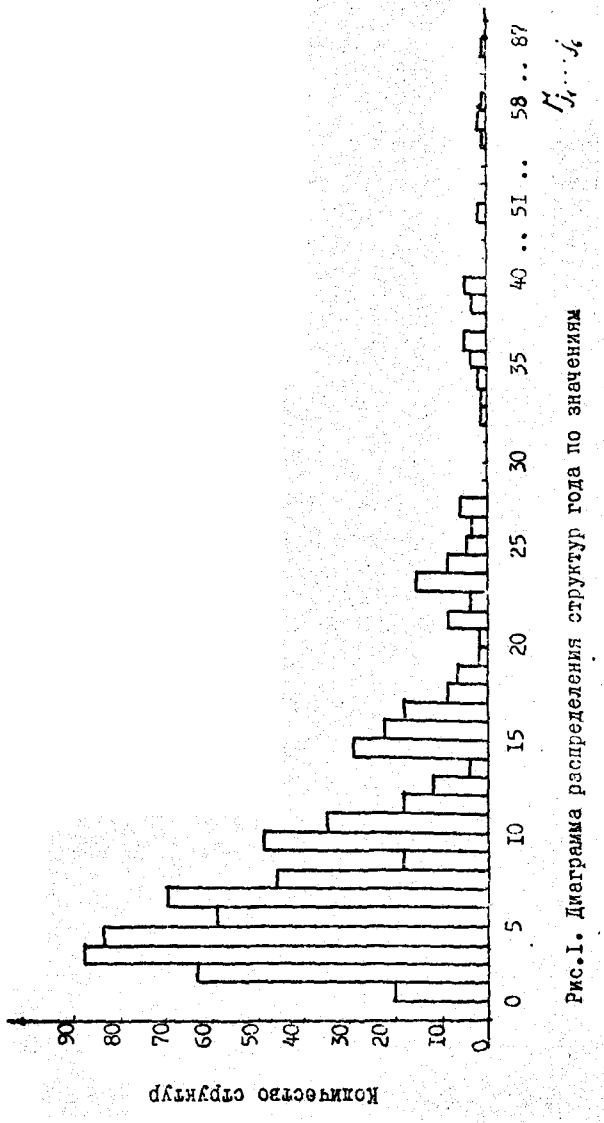


Рис.I. Диаграмма распределения структур года по значениям коэффициента годового роста численности.

4/ в основном значениями $r_{j_1 \cdots j_6}$ в интервале $I \leq r_{j_1 \cdots j_6} < I8,631$ структура соответствует указанному интервалу;

5/ наибольшей частотой - 88/729 для $r_{j_1 \cdots j_6}$ в интервале $2 \leq r_{j_1 \cdots j_6} < 3$;

6/ редкостью исключительно благоприятных условий; всего 28 структур имеют $31 \leq r_{j_1 \cdots j_6} < 87,6$.

На основе приведенной диаграммы особенности динамики популяции общественной полевки объясняются следующим образом.

Как интервал между пиками, так и большие и малые волны численности являются функцией $r_{j_1 \cdots j_6}$, точнее, коэффициента размножения γ_{j_i} и средней продолжительности жизни τ_{j_i}, которые отражают происходящие в среде изменения. Согласно расчетам /табл.I/, указанные коэффициенты таковы, что определяют интервал между пиками от 2 до 8 лет, с максимумом частоты на три и четыре года. Строгая периодичность - это только впечатление, которое создается от частоты интервала между пиками в четыре года. Чем выше эта частота, тем строже кажется периодичность.

Поскольку рассматривается один вид на определенной территории, то большая волна массового размножения отличается от малой последовательностью годов с более высокими значениями $r_{j_1 \cdots j_6}$. Так как частота последних мала, то большие волны встречаются реже.

Большим разнообразием значений $r_{j_1 \cdots j_6}$ объясняется и разность высот всех пиков.

Что касается локальных изменений и географических различий, а также тенденции к совпадению, особенно больших волн,

результаты расчета не отражают этих особенностей, так как расчет численности ведется в определенной географической местности на строго ограниченной изолированной территории, и, следовательно, пространственные эффекты во внимание не принимаются. Однако анализ диаграммы распределения структур года по значениям $\Gamma_{j_1 \ldots j_6}$ дает возможность высказать определенные соображения, поясняющие эти особенности.

Как отмечалось выше, коэффициент годового роста численности очень чувствителен к замене даже одного состояния в структуре года. Отсюда и географические различия и локальные изменения численности полевок.

Значения $\Gamma_{j_1 \ldots j_6}$ также дают возможность понять внезапное появление полевок, которое тем ярче, чем ниже начальная плотность и выше коэффициент размножения за данный промежуток времени.

Несколько слов относительно тенденции к совпадению больших волн массового размножения полевок.

Согласно расчетам, большую волну массового размножения дают последовательности годов, содержащие,в основном в структуре, состояния "а" и "в", что соответствует благоприятным внешним условиям для размножения вида. По-видимому, если в какой-либо местности в течение длительного промежутка времени созданы такие условия, то на близких расстояниях не могут существовать диаметрально противоположные. Это обеспечивает нарастание численности на больших территориях.

Вероятно, в таком случае решающую роль играют метеорологические условия, которые в течение длительного промежутка времени на близких расстояниях не могут сильно отличаться

друг от друга. Отсюда и тенденция к совпадению больших волн массового размножения.

Следует отметить, что данное соображение не претендует на полноту пояснения указанного явления, так как миграции и расселение популяции на больших территориях во время нарастания численности не рассматриваются.

В заключение, относительно экологического и статистического направления в изучении колебаний численности мышевидных грызунов следует заметить,что сторонники экологического подхода стараются вскрыть механизм взаимодействия среда-экосистема и на его основе объяснить и предугадать результат этого взаимодействия.Сторонники же статистического направления по результатам взаимодействия среда - экосистема хотят судить о механизме указанного взаимодействия.

Поскольку статистическое и экологическое направление в изучении колебаний численности грызунов представляет собой два подхода к одному и тому же явлению, то результаты исследований не могут противоречить друг другу. Это подтверждается полученными нами результатами.

Литература

1. Д.Г.Цкипуришвили. "Сообщения" АН ГССР, 41,2,1966.
2. Н.В.Башенина. Экология обыкновенной полевки. МГУ,М.,1962.
3. Б.С.Виноградов. Материалы по динамике фауны мышевидных грызунов СССР. Л., 1934.
4. Н.И.Калабухов. Зоол.ж., т.41,вып.9, 1962.
5. Д.Лэк. Численность животных и ее регуляция в природе.

ИЛ, М., 1957.
6. Н.П.Наумов. Очерки сравнительной экологии мышевидных грызунов. АН СССР, М., 1948.
7. П.А.Свириденко. Размножение и гибель мышевидных грызунов. Л., 1934.
8. C.S.Elton. Voles,Mice and Lemmings - Problems in Population Dynamics. Oxford, 1942.
9. В.Л.Канкава. Тр. Зоол. ин-та АН ГССР, Тбилиси, 1965.
10. С.С.Кохия. Общественная полевка в Грузии. "Мецниереба", Тбилиси, 1965.
11. Т.А.Оцхели. Онтогенетическое развитие животных . "Мецниереба", Тбилиси, 1965.

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ МЕДИЦИНСКИХ ЗНАНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ

Радзиевский В.С.

Важным этапом создания систем искусственного интеллекта является разработка методов и средств представления в этих системах знаний о том внешнем мире, с которым система взаимодействует или который обследует. Эти знания используются системой в дальнейшем для выполнения поставленных целей и решения тех задач, которые при этом возникают.

В данной работе предпринята попытка представления некоторых аспектов медицинских знаний и использования их при решении задач диагностики.

Традиционно автоматизация решения задач диагностики сводится к разработке систем или машинных программ, обеспечивающих отображение множества входных данных - значений признаков, которые по тем или иным причинам считаются существенными для определения состояния организма, в множество выходных данных - диагнозов заболеваний.

Такие системы или машинные программы разрабатываются с использованием априорной информации о соотношени х между симптомами и заболеваниями, и их использование бывает оправдано в большинстве случаев.

В то же время следует отметить, что в основе такого подхода к решению задач диагностики лежит стимульно - реактивный (бихевиористический) принцип имитации лишь наблюдаемых сторон поведения врача при постановке диагноза. Этот принцип моделирования почти полностью игнорирует знания врача, полученные в результате квалификации, которые не сводятся и не должны сводиться к знанию о соотношениях между симптомами и заболеваниями

(стимулами и реакциями).

Естественно, что врач, ставя диагноз, использует знания о самой структуре организма, определяемой взаимосвязью его функционирующих подсистем различного уровня иерархии.

Такой подход дает возможность исключить из рассмотрения большое количество заведомо неперспективных для установления диагноза данных и проводить обследование больного с большей селективностью.

Будем рассматривать организм как систему, состоящую из множества функционирующих элементов вместе с совокупностью отношений между этими элементами.

Для дальнейшего будет удобно произвести разложение этой системы на некоторое число подсистем. Такого рода декомпозиция может быть проведена различными способами в соответствии с выбором некоторого отношения эквивалентности, выполняемого для элементов, принадлежащих общему классу разбиения.

Способы декомпозиции системы выбираются в соответствии с теми целями и задачами, которые ставятся перед исследователем.

Выбрав некоторое множество способов разбиения некоторой системы S_0, можно построить некоторое дерево декомпозиции (рис.I).

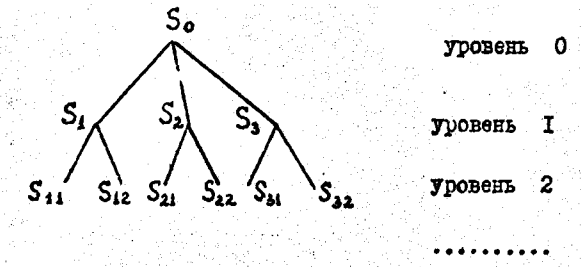


Рис.I.

Такого рода иерархическую декомпозицию использует медицина, расчленяя, например, систему - организм на такие составляющие, как: нервная система, система эндокринных желез, дыхательная система, пищеварительная система и т.д.
Эти системы делятся, в свою очередь, на подсистемы; так, нервная система делится на центральную и периферическую подсистемы, система эндокринных желез - на щитовидную железу, околощитовидные железы, гипофиз и т.д.

Очевидно, что любая существующая классификация системы - организма базируется на преследуемой исследователем цели и в той или иной степени основана на знании специалистов о свойствах и связях функциональных подсистем организма. В соответствии с иерархическим представлением системы-организма, осуществляемым в медицинской науке, попытаемся задать метод формального представления знаний об этой системе.

Прежде всего каждой подсистеме поставим в соответствие понятие, описывающее эту подсистему.

Понятия различного уровня иерархии будут находиться в отношении, связывающем вложенные друг в друга понятия от более общих SUP - понятий к более частным SUB - понятиям.

Для раскрытия содержания понятий, характеризующих различные функциональные подсистемы организма, можно воспользоваться теми данными, которые уже имеются в медицине.

С целью формализации представления понятий, а также для их компактного и единообразного описания, удобно использовать представления понятий в виде минимальной дизъюнктивной нормальной формы бинаризованных вектор-матриц, данной в работах /I,2/. Эта форма оказалась удобной и для интерпретации понятия в виде графа, что существенно для дальнейшего. Каждому понятию, представленному в виде бинаризованных вектор-матриц, поставим в

соответствие словесное обозначение понятия, т.е. имя понятия. Знание о системе-организме будем представлять в виде упомянутых понятий, характеризующих функциональные подсистемы организма, и семантических отношений между понятиями, изобразив при этом структуру семантического знания в виде направленного графа.

Вершинам графа поставим в соответствие имя понятия, а дугам - семантические отношения между понятиями. Структуру такого рода обычно называют семантической сетью. Сами понятия, заданные набором бинаризованных значений свойств, будем изображать в виде направленных графов, в которых вершиной обозначено имя понятия, а свойства, приписываемые понятию, в виде бинарного отношения, отображающего область своего определения, т.е. вершины, к которым свойство применяется, в область значений, т.е. значения, которые свойства может принимать /3/. На графе свойства обозначаются в виде соответствующих дуг.
Поскольку дуги могут быть связаны дизъюнкцией и конъюнкцией, то данный граф приобретает структуру пропозиционального графа / 4 /.

Учитывая тот факт, что нашей целью является использование знаний для диагностики, т.е. для выявления различного рода патологических состояний (нарушений функциональных подсистем организма), в дальнейшем будем пользоваться понятиями, характеризующими патологические состояния подсистем организма.
Выделим особо вершины, определяющие значения некоторых свойств, которые могут быть непосредственно наблюдаемы и содержат исходную информацию. Эти вершины будем называть симптомами.

Поскольку мы пользуемся бинаризованными значениями признаков, то всевозможные отклонения их значений разделим на 2 категории. К первой отнесем нарушения, направленные в сторону увеличения значения некоторого свойства по сравнению с нормой, а

ко второй - нарушения, направленные в сторону уменьшения значения свойств, обозначив при этом нарушения первой и второй категории соответственно буквами, взятыми без значка отрицания и со значком отрицания.

Целью данной работы является представление знаний о патологических состояниях организма в такой форме, при которой в дальнейшем может быть облегчен выбор методов лечения.

Ввиду того, что большинство из методов лечения болезни состоит в воздействии лечебными факторами на причины болезни, выявление причин заболевания становится существенным фактором диагностики и выбора метода лечения.

В данной работе при представлении знаний о патологических состояниях организма, мы ограничимся теми отношениями, анализ которых дает возможность выявить причины наблюдаемых отклонений. С этой целью в формируемой семантической сети выделим 2 вида отношений, отражающих медицинские знания о взаимовлиянии подсистем. Первый вид отношений будет характеризовать причинно-следственные связи между симптомами и теми возможными нарушениями функциональных подсистем организма, которые могут быть виновниками наблюдаемого симптома /5,6/.

Для интерпретации причинно-следственных связей в виде графовой структуры проведем дуги, исходящие от предполагаемых причин (нарушений функциональных подсистем организма) и направленных к симптому - следствию.

Второй вид отношений характеризует отношения между понятиями одного уровня, которые обозначим словом "способствовать". На графе это отношение обозначим пунктирной линией, связывающей соответствующие понятия или их свойства. Эти связи используются для того, чтобы показать влияние функциональных подсистем, усиливающих или ослабляющих функции друг друга.

Однако это влияние не носит характера причинно-следственного отношения.

Таким образом, мы изобразили структуру семантического знания в виде направленного графа, вершинами которого являются имена понятий и значения их свойств, а дугами - отношения "причина - следствие" и "способствовать".

Для наглядности и для практического удобства иерархическая структура семантического знания здесь изображена на многослойных плоскостях (рис.2). Симптомы P_1 P_2 P_3 изображены в виде вершин над верхней плоскостью.

Графы, отображающие понятие, обведены квадратом. Отношение "способствовать" изображено пунктиром.

Такая многослойная структура, построенная на принципе подчинения понятий, дает возможность решать задачу диагностики вначале на самом верхнем уровне, а потом переходить к нижним уровням, где находятся подчиненные понятия.

Это дает возможность сразу отсекать большие участки сети при поиске причин того или иного нарушения.

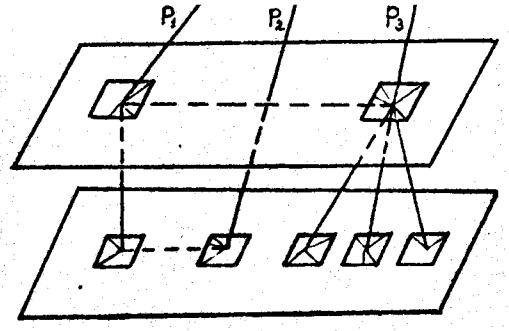


Рис.2.

Поскольку симптом может быть следствием многих нарушений, то можно говорить о множестве возможных причин, вызывающих данный

симптом. Так, например, симптом P_i может быть следствием нарушений $A_1 A_2 \bar{A}_3 \vee A_4 \bar{A}_5$, где буквы со значком отрицания обозначают нарушения со значением меньше нормы, а буквы без значка отрицания-нарушения со значением больше нормы. Такого рода запись может быть интерпретирована как понятие (I) о множестве причин заболевания и может быть представлена в виде пропозиционального графа /4/.

Следует отметить, что под причиной здесь понимаются внутренние причины, связанные с нарушением различных подсистем организма.

Однако можно включить в семантическую сеть данные и о возможных внешних причинах (инфекция, отравление, травма, ожог и т.д.). Поскольку каждая из причин, вызывающих тот или иной симптом, также может быть следствием некоторых нарушений, то может быть построена целая цепочка из дуг, связанных причинно-следственными связями.

Основной принцип выявления наиболее вероятных причин, следствием которых является набор симптомов, заключается в том, что чем больше цепочек, исходящих от вершин-симптомов, пересекаются в некоторой вершине A_i, характеризующей нарушение, тем больше вероятность того, что эта вершина характеризует причину данного набора симптомов.

Учитывая, что не все исследования одинаково доступны в том или ином смысле, оказывается желательным упорядочить симптомы по степени их доступности для наблюдений или стоимости.

Поэтому, при проведении обследования на первом этапе выдвигается гипотеза на основе данных, более доступных для обследования (анамнез, лабораторные обследования), и только в крайних случаях переходят к дорогостоящим и опасным для здоровья обследованиям.

Рассмотрим теперь некоторые свойства вводимых нами отношений. Обозначим отношение "причина - следствие" через R. Из транзитивности следует $xRy \wedge yRz \rightarrow xRz$.

Это соотношение по индукции обобщается на произвольное число элементов. В то же время если R транзитивно, то транзитивно и обратное отношение R^{-1} и, следовательно, выполняется соотношение: $xR^{-1}y \wedge yR^{-1}z \rightarrow xR^{-1}z$, которое также обобщается на произвольное число элементов. Это дает возможность двигаться по дугам, связанным транзитивным отношением, в двух направлениях: от причины к следствию и от следствия к причине.

Аналогичный вывод можно сделать и об отношении "способствовать". В случае, когда имеется несколько вершин с одинаковым количеством пересеченных цепочек, для выявления того, какая из них является с большей вероятностью истинной причиной наблюдаемого набора симптомов, необходимо получить некоторую дополнительную информацию, что требует дополнительного обследования.

Для того чтобы обследование провести с большей селективностью, используем отмеченные пунктиром отношения "способствовать".

Рассмотрим интересующую нас вершину A и выясним, какая из вершин с ней связана отношением "способствовать". Пусть это будет вершина B. Рассмотрим следствия, исходящие из вершины B. Если эти следствия наблюдаемы, то они будут дополнительными симптомами, отвергающими или принимающими первоначальную гипотезу. Если реальное измерение свидетельствует о наличии соответствующего нарушения, то это будет фактором, подтверждающим нашу гипотезу о причине нарушений.

Другими словами, такая связь, имеющаяся между понятиями и признаками одного уровня, дает возможность активизировать

новую цепочку причинно-следственных связей.

Следует отметить, что отношения могут быть изображены не только в виде дуг графа, но также и в виде матриц, состоящих из нулей и единиц.

При матричном представлении структуры семантического знания, для обнаружения причины, вызывающей комплекс симптомов, необходимо подсчитывать число единиц, находящихся в одной строке или столбце.

Если в исходной матрице не обнаружено пересечений, то берем квадрат, куб и т.д. этой матрицы, определяя наличие цепочек из двух, трех и т.д. связанных дуг и обнаруживаем место их пересечений.

Объединив получаемые последовательно матрицы и выполнив тем самым операцию транзитивного замыкания над отношениями, обнаружим пересечение цепочек различной длины. Это даст возможность выделить вершины с максимальным числом пересекающихся дуг и тем самым наиболее вероятные причины заболевания.

При такой интерпретации знаний процесс выявления причин заболеваний, являющийся важным моментом диагностики заболевания и выбора оптимального метода лечения, может быть легко реализован на машине, с которой можно будет общаться в режиме диалога.

Литература

1. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.61, № 1, 1971.
2. V.V.Chavchanidze. Kybernetes, vol.3, N1, 1974.
3. Ф.Коен, Д.Милопулос, А.Борджида. Труды IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, т.2, Тбилиси, 1975.

4. Э.В.Попов, Г.Р.Фирдман. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. "Наука", М., 1976.
5. Гарри Е. Поль. Труды IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, т.10, 1975.
6. Рубин Э. Труды IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту, т.10, 1975.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ФОРМАЛИЗМ ПРИ ОПИСАНИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА

Пирцхалава М.П., Шергелашвили Н.А.

Широкие возможности концептуальных методов объясняет повышенный интерес к применению этих методов в решении медицинских задач по диагностике и прогнозированию.

В настоящей работе методом концептуального формализма /1-4/ исследуется хронический гастрит. Это заболевание пищеварительного тракта является наиболее распространенным в наше время, диагноз его не может быть точно поставлен даже на основании ярко выраженных клинических симптомов.

Эта болезнь интересна прежде всего прогнозом ее течения и переходом в злокачественные новообразования желудка /5/. Являясь предопухолевым заболеванием, она не во всех своих формах одинаково опасна, поэтому имеет смысл дифференцировать эти формы и сопоставить их с другими факторами.

Главной целью настоящей работы является разработка концептуальной программы и формирование концепта хронического гастрита не только с целью апробации некоторых положений теории, но и с целью применения его как средства для диагностики этого заболевания лечащим врачом.

Исходный материал составлял 100 историй болезней по хроническому гастриту, полученных из Первой Республиканской больницы (доцент Б.Х.Рачвелишвили).

Так как объект, концепт которого предполагается определить, должен быть описан в признаковой системе /6/, ставилась зада-

ча выбора системы признаков. Методика формирования признаковой системы сводилась к следующему: на основании имеющейся в наличии информации о хроническом гастрите строилось иерархическое дерево объекта, которое давало возможность грубо очертить ту область, из которой можно было бы отобрать нужную информацию. После выделения системы признак-значение оценки признаков приводились к бинаризованной форме. Была выбрана признаковая система из 166 признаков. Из них для анализа были отобраны 156. На каждую историю болезни записывалась карта ответов на эти 156 признаков, т.е. имели исходное выборочное множество M из 100 траекторий по 156 признакам.

Траектория, записанная в форме

$$T_k = \check{X}_{k_1}\ \check{X}_{k_2} \cdots \check{X}_{k,m_i} \cdots \check{X}_{km}, \quad k = 1 \cdots 100, \quad m = 1 \cdots 156,$$

где:

$$\check{X}_{k,m_i} = \begin{cases} X_{k,m_i}, \text{если признак } X_{k,m_i} \text{ присутствует,} \\ \overline{X}_{k,m_i}, \text{если признак } X_{k,m_i} \text{ не присутствует,} \end{cases}$$

получала оценку $+\mathcal{E}$, т.е. оценку принадлежности данной траектории к вырабатываемому понятию хронического гастрита.

По этим материалам составлялась таблица состояний размерностью 100 x 156, горизонтальные строки которой соответствовали номерам историй болезни, а вертикальные - бинаризованным признакам.

Таблица обрабатывалась двумя способами.

I. Траектории кодировались в двоичном коде и упорядочивались по возрастанию кода. При этом исследовалась соответствующая система фильтров:

$$\Phi^n = \bigcup_{i=1}^{n} 2^{n-i} \binom{1}{0} 2^{i-1}.$$

Она означает объединение таких фильтров, каждый из которых представляет столбец, состоящий из последовательности I,0, повторяемых 2^{n-i} раз с периодом 2^{i-1}, где i - номер пе-

ременной или столбца.

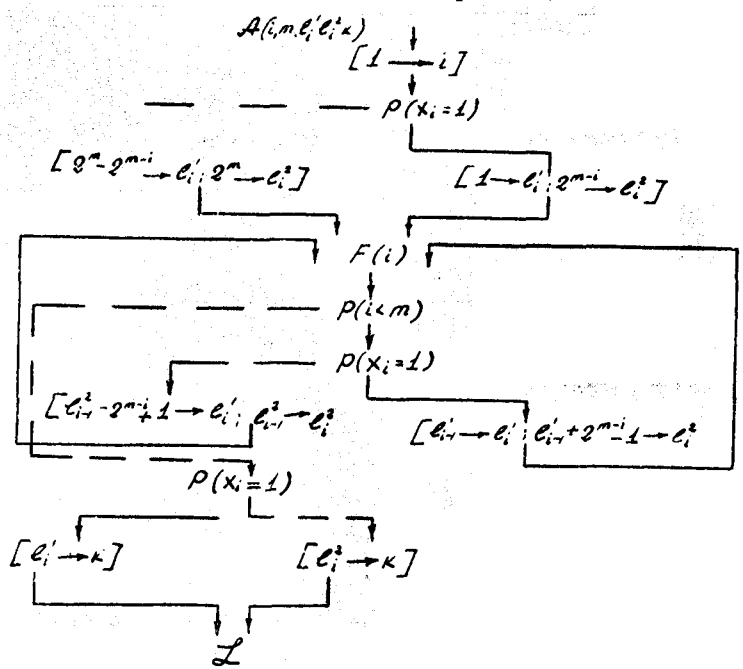
Наличие структурной закономерности в системе фильтров позволяет составить сравнительно простой алгоритм кодировки траектории в коде j, где j -номер строки в системе фильтров ($j = 1 \cdots 2^n$).

Упорядоченное по возрастанию j множество M обозначим через J_0. Таким образом, для каждой траектории T_k из множества M находим соответствующее ей место в системе фильтров Φ^n. Получаем упорядоченное множество J_0, где

$$T_j = \check{X}_{j_1}\ \check{X}_{j_2} \cdots \check{X}_{j_m}, \quad j = 1 \cdots 100, \quad m = 1 \cdots 156.$$

Приводим соответствующую блок-схему программы кодировки траектории (рис.I).

Блок-схема программы кодировки реализации:



где

A – оператор ввода,

$[\rightarrow]$ – оператор засылки,

$P(\ )$ – оператор проверки логического условия,

$F(\ )$ – оператор переадресации,

$\mathcal{L}$ – оператор останова,

m – число признаков,

i – номер признака,

e_i^1 – нижняя граница интервала значений,

e_i^2 – верхняя граница интервала значений,

K – ячейка кода.

Затем строилось дерево понятий /7/. Узловые точки этого дерева определяли число переменных, которые необходимо проанализировать для нахождения соответствующих им существенных сочетаний. Их конъюнкция дает концепт хронического гастрита.

Интерпретация этого концепта сводится к тому, что любое существенное сочетание может встретиться с остальными, что говорит о большом многообразии форм проявления хронического гастрита.

2. Другое направление в решении этой задачи состоит в следующем: в множестве M подсчитывали частоту встреч признаков и располагали их по убывающей частоте. В результате получали таблицу, где траектории

$$T_k = \check{X}_{k_1} \check{X}_{k_2} \cdots \check{X}_{k_i} \qquad \begin{matrix} k = 1 \cdots 100 \\ i = 1 \cdots 156 \end{matrix}$$

После этого упорядочивали таблицу по вышеуказанной блок-схеме. Полученная таблица реализаций T_0, где траектории $T_j = \check{X}_{j_1} \check{X}_{j_2} \cdots \check{X}_{j_i}$, $j = 1 \cdots 100$, $i = 1 \cdots 156$, характерна тем, что единицы сосредоточены в левой стороне таблицы, особенно в верхнем углу, а нули – справа. Такая таблица обладает рядом достоинств, существенно облегчающих анализ исходной выборки M. Структура такой матрицы позволяет довольно легко определить такие сочетания значений признаков, которые присутствуют всегда, т.е. имеют вероятности, равные 1.

С этой целью просматриваем множества по столбцам-признакам $i = 1 \cdots 156$.

Пусть столбцам-признакам $\check{X}_{j1} \check{X}_{j2} \cdots \check{X}_{ji}$, $j = 1 \cdots 100$, $i = 1 \cdots 156$, соответствуют множества $T_{01}\ T_{02} \cdots T_{0i}$; $i = 1 \cdots 156$, тогда существенные сочетания можно получить, определив пересечения множеств:

$$T_{01} \cap T_{02} \cdots \cap T_{0i}$$
$$T_{02} \cap T_{01} \cdots \cap T_{0i}$$
$$\vdots$$
$$T_{0i} \cap T_{01} \cdots \cap T_{0i-1}.$$

Полученные существенные сочетания позволяют сократить число рассматриваемых переменных в весьма значительной степени, поскольку появляется возможность оперировать не переменными, а их сочетаниями. Таким образом сокращается поле поиска.

Обозначив полученные существенные сочетания через $\{X_0\}$, для хронического гастрита мы получим 33 существенных сочетания.

Теперь можно ограничиться исследованием полученных существенных сочетаний, их связей и отношений. В таком случае удобно пользоваться деревом, построенным на базе сокращенной матрицы фильтров, но уже не с переменными в столбцах, а с их сочетаниями. Подобное дерево уже очерчивает структуру попусту в том смысле, что дает наглядное представление о взаимосвязях переменных и их соподчинении.

В нашем случае при анализе с медицинской точки зрения были

получены следующие существенные сочетания, соответствующие концепту хронического гастрита:

$$X_{149}\bar{X}_{23}\bar{X}_{76}\bar{X}_{127}\bar{X}_{140}\bar{X}_{159}[X_{108}X_{118}\bar{X}_{13}\bar{X}_{30}\bar{X}_{12}\bar{X}_{80}(X_{11}X_{106}X_{121}X_{136}\cup X_{32}X_{80}X_{155})\cup$$
$$\cup(X_{49}X_{92}X_{95}X_{99}X_{96}X_{122}\bar{X}_{66}\bar{X}_{22})]\cup X_{106}X_{108}\bar{X}_{110}\bar{X}_{151}(X_{76}X_{138}X_{149}\bar{X}_{23}\bar{X}_{66}\bar{X}_{10}\bar{X}_{25}\cup$$
$$\cup X_{66}X_{95}X_{125}X_{133}\bar{X}_{16}\bar{X}_{127}\cup X_{90}X_{92}X_{122}X_{125}\bar{X}_{13}\bar{X}_{66})\cup$$
$$\cup X_{126}X_{149}\bar{X}_{22}\bar{X}_{25}\bar{X}_{26}\bar{X}_{80}\bar{X}_{170}(X_{95}X_{122}X_{125}\bar{X}_{23}\bar{X}_{30}\bar{X}_{127}\cup X_{12}X_{136}X_{155}).$$

Эта формула означает, что при хроническом гастрите всегда встречаются сочетания следующих признаков: атрофический гастрит, количество желудочного содержимого уменьшен, усталость, не адекватная выполняемой работе, утомляемость, боли в эпигастральной области тупые, свободная соляная кислота отсутствует, нормальная эвакуация из желудка, нет воздействия вредного фактора, нет диспептических проявлений в виде отрыжки тухлой, рвоты тухлой, нет неровных контуров желудка или есть рвота кровью, рвота натощак, боли в эпигастральной области тупые, болезненность при пальпации в эпигастральной области, болезненность при поколачивании в области желудка, нет воздействия вредного фактора, не увеличено количество желудочного содержимого, нет неровных контуров желудка или при этом есть диспептическое проявление в виде тошноты, нормальная эвакуация из желудка, хронический холецистит и т.д.

Таким образом, полученная формула концепта показывает возможность использования аппарата концептуального формализма для задач клинической медицины.

Литература

I. В.В.Чавчанидзе. К построению ОТС как общей теории концептуальных систем. Сообщения АН ГССР, т.63, № I, 1971.

2. В.В.Чавчанидзе. Основные соотношения аналитической теории алгебры высказываний. Сообщения АН ГССР, т.XXXIУ, № I, 1964.
3. В.В.Чавчанидзе. К вероятностным механизмам формирования понятий и образов естественным интеллектом. Сообщения АН ГССР, т.76, № 3, 1974.
4. В.В.Чавчанидзе. Аналитика искусственного интеллекта и проблемы концептуального системного анализа. Материалы коллоквиума по "Концептуальному системному анализу естественных и искусственных систем". Батуми, 24-28 апреля 1973.
5. О.Л.Гордон. Хронический гастрит и так называемые функциональные заболевания желудка. М., 1959.
6. О.И.Галицкая, В.В.Чавчанидзе. О решении задачи медицинской прогностики методом концептуального формализма. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Естественный и искусственный интеллект. (Концептуальный подход). Тбилиси, 3-8 сентября 1975.
7. В.В.Чавчанидзе, Б.Х.Рачвелишвили, О.И.Галицкая. О концептуальном подходе к задачам медицинского прогнозирования. Сообщения АН ГССР, 78, № 2, май 1975.

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕРДЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

Корнеева А.В., Лианозов К.М., Герикович Э.И.,
Минеев И.Ф.

Изучение фазовой структуры сердечного цикла у различных представителей класса млекопитающих является одной из важных задач современной кардиологии, так как оно помогает выявить те общебиологические закономерности в работе четырехкамерного сердца, которые были выработаны в процессе эволюции.

Для изучения фазовой структуры сердечного цикла большое распространение получил метод поликардиографии, дающий довольно обширный объем информации о сердечном сокращении. Экспрессанализ большого числа считываемых и вычисляемых параметров с использованием классических методов статистической обработки представляет определенную трудность.

В связи с этим для анализа поликардиограмм был использован концептуальный подход, разработанный в Институте кибернетики АН ГССР /1,3/. Аппарат концептуального формализма позволил построить концепты (формульно-логические определения), характеризующие фазовую структуру сердечного цикла и учитывающие все параметры в их существенной взаимосвязи.

Для описания фазовой структуры сердечного цикла белых мышей, белых крыс, морских свинок, кроликов, кошек были построены концепты, опирающиеся как на абсолютные, так и на относительные показатели фазовых параметров: сердечный цикл (С), электрическая систола ($S_э$), механическая систола ($S_м$), общая систола ($S_о$), период напряжения (Т), асинхронное сокращение (АС), изометрическое сокращение (ИС), период изгнания (Е), максимальное изгнание (МИ), редуцированное изгнание (РИ),

электрическая диастола ($Д_э$), механическая диастола ($Д_м$), общая диастола ($Д_о$), период полного покоя (ТР).

Для вычисления концептов использовался аналитический фильтрационный метод формирования понятий /2,4/.

Для вышеперечисленных фазовых показателей были составлены единообразные шкалы "значений". Они состояли из интервалов типа: ($M-2\sigma$, $M-\sigma$), ($M-\sigma$, $M+\sigma$), ($M+\sigma$, $M+2\sigma$), где M – математическое ожидание, σ – среднее квадратичное отклонение. Совокупность таких шкал, составленных для каждого вида млекопитающих, определяла систему "признак-значение", в рамках которой строились концепты.

Рассмотрим, например, концепт, описывающий фазовую структуру сердечного сокращения белой мыши:

$$\phi_1\phi_2\phi_4\bar{\phi}_5\bar{\phi}_7\phi_8\phi_9\phi_{14} \vee$$
$$\vee \bar{\phi}_1\bar{\phi}_8\bar{\phi}_9\bar{\phi}_{11}\bar{\phi}_{10}(\bar{\phi}_2\bar{\phi}_9\bar{\phi}_{14} \vee \phi_2\bar{\phi}_9\bar{\phi}_5\bar{\phi}_7).$$

Первой импликантой описывается тип фазовой структуры, для которого характерны следующие одновременно отмечаемые "состояния" параметров:

$$C \leq N(N=129),\ S_э \leq N(N=62),\ S_о \leq N(N=70),$$
$$T > N(N=19.5);\ ИС > N(N=8),\ E \leq N(N=49),$$
$$МИ \leq N(N=26.5),\ ТР \leq N(N=23).$$

Второй импликантой описывается тип фазовой структуры, для которого характерны следующие одновременно отмечаемые "состояния" параметров:

$$C > N(N=129),\ E > N(N=49),\ МИ > N(N=26.5),$$
$$Д_э > N(N=67),\ Д_о > N(N=58),$$

при этом

$$S_э > N(N=62),\ S_м > N(N=59),\ ТР > N(N=23)$$

или

$$S_э \leq N(N=62),\ S_м > N(N=59),\ T > N(N=19.5)$$
$$ИС > N(N=8)$$

Концепты, построенные на абсолютных фазовых показателях, позволили выявить специфику структуры сердечного сокращения для каждого из рассмотренных видов млекопитающих. Но резкое различие в длительности сердечного цикла у этих животных не позволило провести сравнения полученных концептов.

Для выявления общности в режимах работы сердца у животных и человека в рамках системы "признак-значение" были составлены концепты, базирующиеся на относительных показателях. Построенные концепты выявили, что определенные совокупности признаков являются характерными для разных видов животных. Так, например, совокупность:

$$\Phi_{3,1}\,\Phi_{4,1}\,\Phi_{5,1}\,(S_0/C > 50,\ E/C > 30,\ MU/C \leq 20)$$

характерна для белой крысы, кролика, морской свинки; совокупность $\Phi_{3,1}\,\Phi_{4,1}$ - для белой мыши, белой крысы, морской свинки и кролика.

Сопоставление построенных концептов позволяет уловить некоторую общность в структуре сердечного сокращения у животных и человека. Например, для всех типов концептов характерны следующие "состояния" параметров:

$$\Phi_{2,1}\,(S_N/C \leq 50)\ \Phi_{3,1}\,(S_0/C > 50),\ \Phi_{4,1}\,(E/C > 30)$$

Таким образом, концептуальное описание структуры сердечного сокращения у представителей млекопитающих с различными эколого-анатомо-физиологическими особенностями и частотой ритма, лежащей в пределах 700 + 70 ударов в минуту, показало, что для нормального функционирования сердца необходимо сохранение определенных соотношений длительности фаз и периодов цикла.

Литература

1. В.В.Чавчанидзе. Сообщения АН ГССР, т.65, № I, 1971, 10-17.
2. В.В.Чавчанидзе, А.В.Корнеева. Сообщения АН ГССР, т.65, № 3, 1972, 32-41.
3. В.В.Чавчанидзе. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Тбилиси, 1975, 7-78.
4. А.В.Корнеева. Материалы IУ Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Тбилиси, 1975, 161-168.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Г Л А В А I

ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.В.Чавчанидзе. Новые подходы к проблемам системного анализа.(Системы и структуры с точки зрения искусственного концептуального интеллекта). 5

А.В.Корнеева. Искусственный интеллект и теоретические проблемы медицинской кибернетики. 46

Т.Ш.Такадзе. К вопросу формирования решения при моделировании целенаправленного поведения. 73

О.И.Галицкая. Новые подходы к моделированию процесса прогнозирования. 82

А.Г.Дундуа. О подходах к моделированию установочного и концептуально-установочного поведения 96

М.И.Шишигин. Формирование понятий и распознавание плоских бинарных образов на основе искусственного концептуального интеллекта. 101

Н.Т.Ткемаладзе. О способах составления некоторых BIB-схем. 111

З.А.Киквидзе, Н.Т.Ткемаладзе. Об одном подходе к оценке качества функционирования конкретной интеллектуальной системы. 123

Г.А.Мачавариани, Р.П.Цулая, Т.М.Чихладзе. К вопросу координации движения в пространстве. 128

Х.Л.Миколадзе. Полная система эквивалентных преобразований формул исчисления предикатов и теорий перво-

го порядка. 134

Н.Т.Ткемаладзе, З.А.Киквидзе, Э.Н.Авазашвили. Взвешивание предпочтений на множествах признаков и экспертов. 140

Б.В.Чавчанидзе. О "нечетком" мышлении и извлечении информации из данных наблюдения (бинарные последовательности с точки зрения теории искусственного концептуального интеллекта). 147

Г Л А В А II

ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

И.Авалишвили, Г.Беришвили. Расширение автоматов. 183

Л.В.Макаревич. Об имитации поведения вероятностных автоматов на эргодических машинах. 190

Э.И.Кистаури, А.Х.Гиоргадзе. Параллельная декомпозиция полумарковских процессов. 196

А.А.Матевосян. Реализация вероятностных отображений на клеточных автоматах. 207

А.И.Майсурадзе. Устойчивость и стабилизация движения логико-динамических систем. 219

З.А.Пиранашвили. Некоторые методические вопросы моделирования случайных процессов. 227

Н.Г.Хуцишвили. Методы математического программирования в некоторых задачах статистики случайных процессов. 234

З.А.Пиранашвили, З.И.Беришвили. Об одном методе прогноза аналитических случайных процессов. 241

З.А.Пиранашвили, Н.П.Асланиди. Об одном методе линейного и нелинейного прогноза стационарной последовательности и его алгоритмизации. 245
И.Т.Бокучава, А.В.Купрадзе, Р.Б.Мнацаканов, Л.Д.Пирвелашвили, В.И.Трошин, И.М.Хирсели. Статистическая модель автоматизированной системы обработки космической информации. 252
Н.М.Даушвили. Об одной модели многошагового процесса с переменной структурой. 263
Ю.К.Орлов. Некоторые аспекты организации информации человеком (статистическая структура произведений искусства). 267
Г.Ш.Надарейшвили, И.Ш.Надарейшвили, Ю.К.Орлов. Нестационарные явления в процессе порождения текста. 276
В.И.Киселев. Об одном алгоритме определения частоты основного тона звукового сигнала. 286

ГЛАВА Ш

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ

В.Е.Жуковин, Н.Н.Смуров, Т.Ф.Киквадзе, К.Г.Мусхелишвили. Поиск компромиссных решений на основе эвристического эксперимента с лицом, принимающим решение. 293
В.Е.Жуковин, Ф.В.Бурштейн, Н.М.Биниашвили. Шкалирование критериев эффективности в задачах принятия решений по многим критериям. 304
В.Е.Жуковин, Ф.В.Бурштейн, Э.С.Корелов. Принятие решений по многим критериям эффективности и нечеткие множества. 317

В.Е.Жуковин, Я.С.Кришман, Э.С.Корелов, А.Е.Кочарян. Принятие решений по многим критериям эффективности при неполной информации. 326
М.А.Калоев, Л.В.Кизакян, С.В.Фролова. Выдвижение и подбор кадров методом многокритериального шкалирования. 336
З.И.Мунджишвили, Т.Г.Гигилашвили. Интегрированная система управления производством, работающая в режиме "запрос-ответ". 344
З.И.Мунджишвили. Некоторые проблемы разработки и внедрения АСУ. (Теоретические и практические аспекты). 350
З.И.Мунджишвили. Исследование функциональной структуры предприятия. 362
Н.Г.Хуцишвили. Об одном методе решения нелинейной транспортной задачи. 392

ГЛАВА IУ

ВОПРОСЫ КОДИРОВАНИЯ

Д.В.Цискаридзе. Об одном классе арифметических AN-кодов. 400
Г.Г.Ананиашвили, В.Д.Варшавский, Д.В.Цискаридзе. Методы повышения надежности запоминающих устройств. 405
М.И.Шишигин, Т.Л.Хомерики. Алгебраические аспекты построения информационных структур. 428
М.Е.Перельман. Алгебра альтернативных свойств систем, преобразований Гильберта и Коши и композиции сингулярных интегралов. 441
К.Г.Кватадзе. Структурная модель факторов обучения

и воспитании и их взаимосвязей. 451

ГЛАВА У

ВОПРОСЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

В.В.Чавчанидзе, К.С.Квинихидзе. Моделирование биологического кодообразования. 476
И.Ш.Чумбуридзе. Исследования функциональной активности нейроподобных систем. 500
Р.Б.Небиеридзе, Т.С.Качахидзе. Исследование механизмов восприятия зрительных образов. 536
О.С.Тавдишвили. О некоторых вопросах зрительного восприятия. 542
Т.В.Зориков. Некоторые вопросы моделирования эхолокатора китообразных. 545
Г.Д.Лашкарадзе. Исследование способностей дельфинов афалин к обнаружению тонально-импульсных сигналов. 550
Н.Д.Сергеенко, Л.М.Степанян, В.С.Хелашвили. К вопросу о помехоустойчивости слуха. 556
Д.Г.Цкипуришвили. К вопросу обоснования особенностей динамики популяции общественной полевки (Microtus socialis Pallas). 561
В.С.Радзиевский. О представлении некоторых аспектов медицинских знаний и их использовании в задачах диагностики. 571
М.П.Пирцхалава, Н.А.Шергелашвили. Концептуальный формализм при описании хронического гастрита. 581
А.В.Корнеева, К.М.Лиханов, Э.И. Гершкович,

И.Ф.Минеев. Концептуальное описание структуры сердечного сокращения. 588
ОГЛАВЛЕНИЕ 592

Напечатано по постановлению Редакционно-издательского
совета Академии наук Грузинской ССР

Художник Н.Кикнадзе

Подписано к печати I7.I.78 Печатных л. 52.50
Уч.-издат.л. 44.0I УЭ 0962I Тираж 550 Заказ 797

Цена 4 руб. 55 коп.

Издательство "Мецниереба", Тбилиси, 380060, ул.Кутузова, I9

Тбилисская книжная фабрика Государственного комитета
Совета Министров Грузинской ССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли, пр.Дружбы, 7