

007:573.6

1778

ПРОБЛЕМЫ

БИОНИКИ

778
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

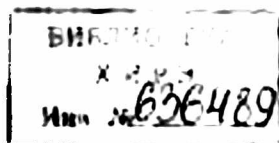
В Ы П У С К 19

Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1968 г.

2111

83



ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»
1977

Сборник подготовлен редакционной коллегией при Харьковском институте радиоэлектроники.

Редакционная коллегия:

Н. М. Амосов, Ю. П. Бугай (отв. секр.), А. А. Волков, В. А. Грабина, А. В. Дабагян, К. А. Иванов-Муромский, А. Г. Мурашко, Е. П. Пуятин, В. Г. Червов (зам. отв. ред.), Ю. П. Шабанов-Кушнарченко (отв. ред.).

Адрес редакционной коллегии:

Харьков, пр. Ленина, 14, институт радиоэлектроники.
Тел. 40-93-45.

Редакция естественнонаучной литературы
П. о. зав. редакцией *Н. Н. Сорокун*

Проблемы бионики. Респ. межвед. темат. научн.-техн. сборник. Вып. 19. X.. «Вища школа», Изд-во при Харьк. ун-те, 1977.

с. Списки лит. в конце статей.

Сборник посвящен вопросам математического и физического моделирования процессов переработки информации на различных уровнях нервной системы. Впервые рассмотрены некоторые аспекты интеллектуальной деятельности человека и возможности воспроизведения элементов этой деятельности в искусственных системах отображения и управления. Последнее особенно важно в связи с огромными задачами, которые поставил перед советскими учеными XXV съезд КПСС. Описана также переработка словесной информации, распознавания зрительных образов, психологические аспекты деятельности операторов сложных систем.

Предназначен для научных работников и специалистов в области кибернетики, вычислительной техники, инженерной психологии, биологии и медицины.

30501 — 484
П М 226(04) — 77 427—77

© Издательское объединение «Вища школа», 1977.

В. Н. ЕФИМОВ, канд биол. наук,
А. В. КЛИМЕНКО, Т. М. БОГАТЫРЕВА

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ИЗ АДАПТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. СООБЩЕНИЕ 2

Данная работа является продолжением [1], в которой предложен двухэтапный метод исследования динамики нейронных сетей. На первом этапе анализа определяется локализация и взаимное расположение характеристических чисел матрицы связи данной нейронной сети. На втором этапе выясняется, как плоскость характеристических чисел преобразуется в соответствии с алгоритмом отдельного нейрона (формулы (8), (9 из [1])) в плоскость корней p уравнений системы (уравнения (4) из [1]), и определяется, какое характеристическое число λ дает доминирующий корень системы. В предыдущей части [1] отмечалось, что тип доминирующего корня определяет и характер собственной динамики системы при $t \rightarrow \infty$.

Если этот корень имеет отрицательную действительную часть, то система устойчива; если же действительная часть корня положительна — система неустойчива. Если доминирующий корень действительный, то система аperiодическая. При наличии комплексного корня (пара комплексно-сопряженных корней) система колебательная. Следовательно, имеем 4 возможных вида движений в системе: неустойчивые колебания (НК); устойчивые затухающие колебания (УК); устойчивая аperiодика (УА); неустойчивая аperiодика (НА).

Структура спектра корней зависит, с одной стороны, от двух индивидуальных параметров элемента: коэффициента адаптации a_0 и отношения постоянных времени $\delta = \frac{\tau}{T}$, а с другой стороны — от общего структурного параметра, в качестве которого принят модуль характеристического числа $|\lambda_{\max}|$ с максимальной действительной частью.

Варьируя указанные три параметра для элементов двух типов, описанных ранее [1], программным методом с помощью ЭВМ были рассчитаны и построены диаграммы для некоторых частных и для общего случая структур нейронных сетей. На этих диаграммах каждая точка в координатах $(a_0\delta, |\lambda_{\max}|)$, относящаяся к какой-либо области, обозначает систему корней с определенным типом доминирующего корня и соответствующим ему видом переходного процесса.

Сети типа замкнутого контура

Рассмотрим структуру с циклической матрицей связи, представляющую собой замкнутую цепочку из n нейронов. Ее характеристические числа все различны, расположены на окружности, т. е. равны по модулю и являются корнями уравнения

$$\lambda^n - (-1)^n a_{n1} \prod_{i=1}^{n-1} a_{i,i+1} = 0. \quad (1)$$

Спектр характеристических чисел циклической матрицы имеет следующие свойства:

1) совокупность всех характеристических чисел, рассматриваемых как система n точек на комплексной плоскости, переходит сама в себя при повороте этой плоскости на угол $2\pi/n$;

2) радиус окружности, на которой лежат характеристические числа (т. е. их модуль), определяется по формуле

$R = \sqrt[n]{B(n)}$, где $B(n) = a_{n1} \prod_{i=1}^{n-1} a_{i,i+1}$ — произведение всех ненулевых коэффициентов (1), причем знак этого произведения определяет знак всего контура;

3) положительный контур с четным числом элементов имеет два действительных характеристических числа с противоположными знаками. При нечетном числе элементов имеется лишь од-

но положительное характеристическое число;

4) при смене знака контура система характеристических чисел поворачивается вокруг начала координат на угол π/n ;

5) если собственные связи элементов контура не равны нулю ($a_{ii} = a$), то вся система чисел сдвигается на комплексной плоскости на величину a вправо при $a > 0$ и влево при $a < 0$.

Кроме того, исследование свойств спектра характеристических чисел таких сетей с помощью ЭВМ показало, что радиус окружности, на которой лежат характеристические числа, не зависит от количества элементов в контуре, если совокупность a_i статистически

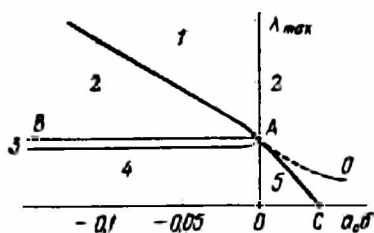


Диаграмма зависимостей между типами доминирующих характеристических корней и видами переходных процессов в циклических структурах:

- 1 — $\lambda_{\max}$ $\begin{cases} I_m(\lambda) = 0 \text{ НА} \\ I_m(\lambda) \neq 0 \text{ НК} \end{cases}$
- 2 — $\lambda_{\max}$, всегда НК;
- 3 — $\lambda_{\max}$, всегда УК;
- 4 — $\lambda_{\min}$ $\begin{cases} I_m(\lambda) = 0 \text{ УА} \\ I_m(\lambda) \neq 0 \text{ УК} \end{cases}$
- 5 — $\lambda_{\max}$ $\begin{cases} I_m(\lambda) = 0 \text{ УА} \\ I_m(\lambda) \neq 0 \text{ УК} \end{cases}$

однородна. Таким образом, с помощью этих положений решается первый этап анализа сети — выявление особенностей спектра характеристических чисел матрицы $A = \|a_{ij}\|$, и в первую очередь значения $\lambda_{\max}$.

На рисунке представлена диаграмма состояний для сетей с циклической матрицей связи из элементов 2-го типа. Как видно, эта диаграмма для индивидуальных параметров a_0, δ в пределах $-1 < a_0 < 0, 0 < \delta < 1$ состоит из четырех зон, а для $0 < a_0 < 1$ — из двух зон. На рисунке для каждой зоны указаны: характеристическое число, определяющее доминирующий корень $\rho_{\max}$, и тип движений системы, соответствующий этому корню.

Результаты расчета показали, что доминирующий корень всегда определяется экстремальными характеристическими числами $\lambda_{\max}$ или $\lambda_{\min}$, причем для каждой зоны диаграммы определяющим является одно из чисел. Для 1-й и 4-й зон комплексность этого числа (т. е. наличие или отсутствие его мнимой части) определяет комплексность доминирующего корня, а следовательно, и вид движения в системе. Например, для зоны 4 определяющим характеристическим числом является $\lambda_{\min}$. Если это число комплексное $\text{Im}(\lambda_{\min}) \neq 0$, то система — устойчивая колебательная; если же $\lambda_{\min}$ действительное $\text{Im}(\lambda_{\min}) = 0$, то система — устойчивая апериодическая. В зоне 2 независимо от комплексности характеристического числа λ , определяющего доминирующий корень, всегда имеем неустойчивые колебания, а в зоне 3 — устойчивые затухающие колебательные процессы.

Граница устойчивости системы в целом проходит по линии ВАС. При отрицательных значениях $a_0\delta$ эта граница проходит на уровне $\lambda_{\max} = 1 + \delta$.

Пользуясь диаграммой состояний, приведенной на рисунке, можно полностью определить собственные динамические свойства заданной структуры нейронной сети в виде замкнутого контура.

В качестве примера рассмотрим нейронную сеть в виде замкнутого положительного контура с четным числом элементов при $a_0\delta = -0,01$. В такой сети при увеличении обобщенных весов связей будет пропорционально возрастать величина $R = \lambda_{\max}$. Так как для четного контура $\lambda_{\max}$ действительное число, то при малых значениях $\lambda_{\max}$ система имеет устойчивую апериодичку (зона 4). По мере увеличения $\lambda_{\max}$ система переходит в зону устойчивых затухающих колебаний (зона 3) и при $\lambda_{\max} \gg 1 + \delta$ переходит границу устойчивости, и попадает в зону неустойчивых колебаний (зона 2). При дальнейшем увеличении значения структурного параметра $\lambda_{\max}$ система может перейти в зону неустойчивой апериодики (зона 1).

В случае отрицательного контура $\lambda_{\max}$ всегда комплексно, поэтому выше границы устойчивости (в обеих зонах 1 и 2) система будет иметь неустойчивые колебательные процессы.

Аналогично можно рассмотреть другие варианты структуры сети и влияние на ее свойства индивидуальных параметров элементов.

Для сетей из элементов первого типа диаграмма состояний аналогична диаграмме на рисунке, лишь ширина зоны 3 линейно уменьшается с увеличением отрицательного значения a_0 по модулю, и при $a_0 = -1$ эта зона вообще отсутствует, а границей устойчивости при $0 < a_0 < 1$ является не АС, а АД.

Сети общего вида с возбуждающими связями

Сети общего вида с возбуждающими связями имеют неотрицательную матрицу обобщенных коэффициентов связи ($a_{ij} \geq 0$). Спектр характеристических чисел таких матриц обладает следующими свойствами:

• всегда существует действительное положительное число $\lambda_{\max}$, превышающее по модулю все остальные числа спектра;

$\lambda_{\max}$ возрастает с ростом любого элемента матрицы, причем выполняется условие

$$\min S_i \leq \lambda_{\max} \leq \max S_i,$$

где $S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ — строчные суммы матрицы. Следовательно, для рассматриваемых структур нейронной сети $\lambda_{\max}$ всегда действительно и увеличивается с ростом числа элементов и коэффициентов связи a_{ij} . При этом тип $\lambda_{\min}$ неопределен.

Как видно из свойств спектра характеристических чисел такого типа структур, значение $\lambda_{\max}$ зависит от среднего числа связей, приходящихся на один элемент. При постоянстве этого числа и сохранении неразложимости матрицы величина $\lambda_{\max}$ практически не зависит от топологии сети. Для сетей с полным набором связей $\lambda_{\max}$ зависит от числа активных элементов, поскольку число связей каждого элемента возрастает пропорционально n .

Результаты расчетов на ЭВМ показали, что диаграмма состояний для сетей из возбуждающих нейронов со слабыми собственными обратными связями (т. е. $a_{ii} \ll a_{ij}$) практически совпадает с диаграммой для замкнутого контура (рисунок).

Диаграмма состояний для сетей с сильными собственными обратными связями ($a_{ii} > a_{ij}$) отличается тем, что ширина зоны 3 может увеличиваться за счет зоны 4, аналогично тому, что показано в работе [1], где ширина зон 3 и 5 могла увеличиваться за счет зоны 4.

Используя свойства спектра характеристических чисел, а так же изменяя вес и число связей в сетях с возбуждающими связями, можно получить все четыре вида движений в системе.

Сети общего вида с тормозными связями

Элементы матрицы обобщенных коэффициентов связи A для сетей общего вида с тормозными связями неположительны, т. е. $a_{ij} \leq 0$.

Так как матрицы структур такого вида аддитивно-обратны матрицам связей сетей с возбуждающими связями, то согласно теории [2] плоскость характеристических чисел как бы повернута на 180° вокруг мнимой оси относительно спектра сетей с возбуждающими связями. Следовательно, всегда найдется действительное отрицательное характеристическое число, превышающее по модулю все остальные числа спектра.

Например, для однородных сетей с тормозными связями ($a_{ij} < 0$) имеется одно характеристическое число $\lambda_{\min} n - (n-1)a$ характеристических чисел, величина которых равна величине обобщенных коэффициентов связей, а от числа элементов в возбужденном ансамбле не зависит. Таким образом, привести систему в состояние, соответствующее 1, 2 и 3 зонам диаграммы (рисунк), можно лишь путем увеличения силы связей элементов в ансамбле.

При моделировании сетей с такими структурами были установлены некоторые особенности в их динамике. Так, в отличие от сетей с возбуждающими связями, элементы которых работают синфазно, а усредненная активность однородной сети равна активности отдельного элемента, элементы сетей с тормозными связями имеют тенденцию работать поочередно. Усредненная активность тормозной сети, как правило, постоянна даже при залповой активности отдельных элементов сети в режиме автоколебаний.

До сих пор анализировались сети из линейных пороговых элементов. В работах [3, 4] в качестве нелинейного описан нейрон, статистическая характеристика которого в надпороговом участке имеет нелинейный «выпуклый» вид, т. е. коэффициент усиления (k) блока 3 зависит от величины входной переменной $u(t)$. Для сетей из таких нелинейных элементов обобщенные коэффициенты a_{ij} и, следовательно, величины λ_i зависят от степени возбуждения всего ансамбля нейронов. Так, увеличивая входные воздействия $x_i(t)$ на элементы ансамбля, можно изменить тип динамики системы в целом, например, перевести неустойчивую автоколебательную систему в зоны диаграммы 3 или 4 с устойчивыми переходными процессами. При этом в сетях из нелинейных элементов наблюдается эффект гистерезиса, т. е. сохранение какой-либо формы активности (колебательной или аperiodической) после уменьшения или даже полного снятия входного воздействия.

Внешним воздействием можно также менять число действующих нейронов в сети. Действительно, полностью заторможенный афферентным сигналом элемент, который находится в глубоко

подпороговом режиме, не влияет на активность сети, хотя при этом сохраняются морфологические связи. В матрице связей A в таком случае должен быть исключен столбец, соответствующий данному элементу. В результате это приводит к изменению определяющего характеристического числа $\lambda_{\max}$, что отражается на динамических свойствах системы в целом.

Эффективная зависимость структурного параметра $\lambda_{\max}$ от многих факторов определяет его более значительное влияние на динамику сети по сравнению с индивидуальными параметрами a_0 и δ .

Таким образом, проведенный анализ позволяет не только оценить динамические возможности целого ряда нейронных сетей, но и показывает способ осуществления их структурной регуляции и управления со стороны внешних систем других иерархических уровней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В. Н., Клименко А. В., Богатырева Т. М. Качественный анализ динамических свойств нейронных сетей из адаптивных элементов. *Сообщение 1.* — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 18. Харьков, 1976, с. 3—9.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М., «Наука», 1967. 603 с.
3. Коган А. Б., Ефимов В. Н., Клименко А. В. Динамические процессы в нейронных ансамблях. *Сообщение 2.* Анализ функционирования нейронных ансамблей с различной структурой. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 15. Харьков, 1975, с. 3—12.
4. Коган А. Б., Ефимов В. Н., Клименко А. В. Динамические процессы в нейронных ансамблях. *Сообщение 1.* Характеристики отдельного нейрона. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14, Харьков, 1975, с. 3—12.

Поступила 20 февраля 1976 г

УДК 62—506.222

П. С. ГРАВЕ

ЭМОЦИИ С ПОЗИЦИЙ БИОКИБЕРНЕТИКИ

Эмоциональную сферу, в которую, кроме собственно эмоций, включены аффекты, чувства и настроения, допустимо изучать с различных точек зрения.

Психологический аспект исследования базируется на данных интрапсихического анализа с последующей экстраполяцией на других лиц. Он позволяет производить дифференциацию между тоской, печалью, скорбью и т. п.

Бихевиористов интересует исключительно феноменологическое поведенческое проявление эмоциональных состояний.

Цель морфофизиологов мозга — изучение локализации эмоций, выяснение сущности и природы тех материальных процессов межнейронных, биохимических, субъективным отражением которых являются эмоциональные состояния.

Заметим, что при всей продуктивности этого направления экспериментальные методики от медикаментозного и, в частности, психофармакологического воздействий до вживления электродов используют «противоестественные» пути, пути воссоздания эмоциональных состояний, «не предусмотренных» природой, что, несомненно, должно находить отражение в трактовке полученных результатов.

Задача биок cyberнетического аспекта исследования эмоций — выяснить их биологическое значение, роль в психическом функционировании, которое управляет поведением. В данной работе делается попытка осветить эти вопросы.

В процессе достижения жизненно важных целей организм по подсистеме обратных связей получает информацию об эффективности собственного поведения, что позволяет ему либо усиливать, либо изменять избранный алгоритм. Полезно при этом обладать внутренним чувствительным и быстродействующим аппаратом оценки результатов сопоставления желаемого и достигнутого. Не исключена возможность наличия подобного аппарата у сравнительно примитивных биосистем. У человека же он представлен эмоциями, которые чутко реагируют на приближение или удаление от цели еще до оперативного-вычислительного анализа на уровне сознания. Таким образом, первую функцию эмоций можно определить как контроль за достижением цели.

По нашим представлениям выбор цели определяется ее субъективной привлекательностью и соотношением вероятности и стоимости достижения (т. е. ценой риска). Однако субъективная привлекательность цели далеко не всегда совпадает с объективной (биологической и особенно социальной) целесообразностью. Индивидуальному выявлению наиболее привлекательной цели в «поле возможностей» и при экстраполяции нескольких вариантов будущего способствуют эмоции, на уровне которых и решается вопрос о том, что именно нам наиболее желательно.

Вторая функция эмоций — участие в выборе цели. В процессе реализации какой-либо цели может резко измениться внешняя ситуация, что требует срочного перепрограммирования. Чтобы надежно обеспечить переход на выполнение более важной программы, системе необходим внутренний сигнал: аффекты страха, гнева, негодования и т. п.

Третья функция — выявление иерархичности программ. Деятельность человека протекает в изменчивой среде, в информационных ситуациях, представляющих разнообразие возможности для смены цели, «требующих» (в действительности неоправданного) перепрограммирования. Поэтому необходимо обеспечить устойчивость программной целенаправленности (функционального инварианта, мотива), стабилизацию и даже усиление начавшейся деятельности. Эту роль положительной обратной связи и выполняют эмоции, которые усиливают тенденциозность отбора, оцен-

ки, переработки и верификации информации, поддерживают тонус и субъективный интерес к собственной деятельности.

Четвертая функция эмоций — стабилизация и усиление целенаправленного поведения. Эта функция эмоций (точнее аффектов) связана с конструированием внешнего поведения. Следует иметь в виду, что различные информационные ситуации «решаются» разными уровнями аппарата управления. Резкие, сильные и внезапные непосредственные воздействия вызывают жестко детерминированные (общебиологические) реакции (рефлекторный уровень).

В относительно привычной, стандартной ситуации поведение регулируется подсознанием с использованием онтогенетического опыта в форме автоматизированных алгоритмов. Сложные, с элементами новизны ситуации анализируются оперативно-вычислительным контуром сознания, который обладает значительной информационной емкостью; а для конструирования адекватной ситуации поведения разрабатываются новые алгоритмы, точность которых обеспечивается обилием чувствительных обратных связей.

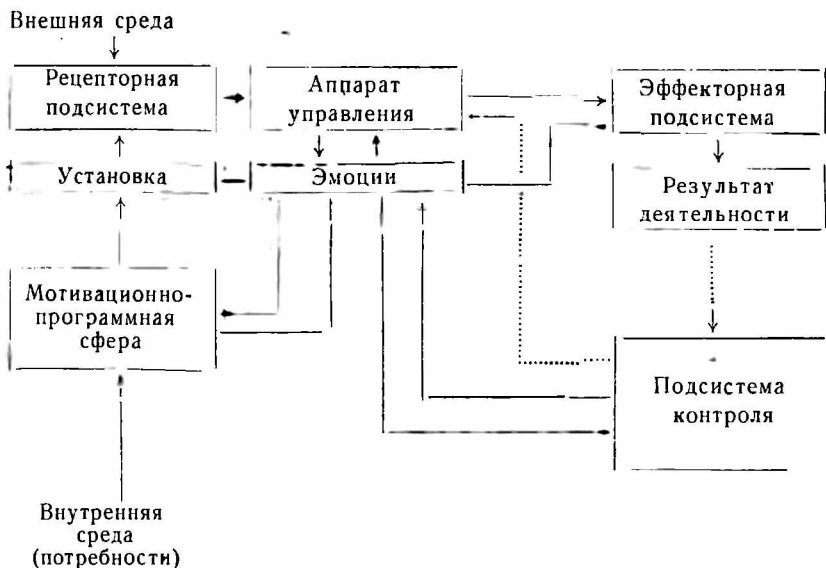
Чрезвычайно сложные задачи решаются на интуитивно-эвристическом уровне. Однако есть еще один класс ситуаций, которые: а) носят экстремальный характер; б) «адресуются» к субъективно важным программам; в) требуют немедленного решения в условиях жизненного цейтнота (следовательно, и дефицита информации).

Система не располагает адекватными и достаточно оптимальными, т. е. точными и экономичными, алгоритмами поведения, а для их разработки на уровне сознания нет времени. Поэтому в подобных ситуациях система переходит на резервный режим работы (что, кстати, выявляет ее адаптивность) путем включения аффектно-аварийных (видовых) алгоритмов поведения, характеризующихся обобщенностью, приближенностью (неточностью) и избыточностью (неэкономичностью), что субъективно переживается как страх, гнев, ярость, злоба и т. п.

Итак, пятая функция эмоционально-эффективной сферы — включение аварийных алгоритмов в экстремальных ситуациях.

Рассмотрим следующую схему.

На схеме показаны структурные связи эмоциональной сферы. Эмоции связаны с мотивационно-программной сферой, а через установку влияют на отбор, оценку и верификацию внешней информации. Их связи с собственно аппаратом управления определяют воздействие на целесообразность и принятие решений. (В частности, на ускорение или замедление перехода от умственно-рефлекторной деятельности к реально-поведенческой). Влияние на аффекторную подсистему не исчерпывается включением аварийных алгоритмов, а проявляется также в особенностях моторной деятельности (мимика, интонация, жестикуляция).



Обилие связей, интенсивность информационного обмена сферы эмоций с блоками управления и внутренними подсистемами (в частности, с эндокринно-гуморальной) организма предопределяют ее чрезвычайную чувствительность к любым изменениям внешней ситуации и внутренней среды, что легко верифицируется клинико-психопатологическими данными от незначительных колебаний настроения до выраженных аффективных синдромов.

Поступила 20 марта 1976 г.

УДК 62.506.2

В. М. БОНДАРЕВ, В. А. ЛОВИЦКИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ. СООБЩЕНИЕ I

Последние годы характеризуются интенсивным развитием систем искусственного интеллекта [1, 2, 3], функционирование которых сводится к решению целого комплекса задач. Умение решать задачи самых различных типов определяет степень интеллекта этих систем. В то же время не существует удовлетворительного определения самого понятия «задача» [4, 5], что затрудняет применение системного подхода к построению так называемых универсальных решателей задач [5, 6].

Известные определения [4, 7] носят чисто описательный характер и уже не могут удовлетворять требованиям современных исследований в области теории решения задач. Попытки,

предпринятые учеными, привели к появлению целого рода формальных определений понятия «задача» [5, 9, 10].

Одно из этих определений [9] характеризует задачу как ситуацию, определяющую действие некоторой решающей системы, и расширяется затем авторами до кибернетического понятия задачи, связывающего в единое целое задачу систему с существующей или потенциальной решающей системой. Данное определение охватывает собой практически неограниченный класс задач, но затрудняет осуществление их классификации.

Другое определение [5] представляет задачу как совокупность трех составляющих: 1) множества S начальных состояний; 2) множества F операторов, отображающих описания состояний в описании состояний; 3) множества G целевых состояний и характеризует класс задач, допускающих их представление в пространстве состояний. Задачи на доказательство автор описывает парой S и T , где S — доказываемое утверждение, а T — множество исходных посылок.

Пользуясь средствами теории систем, М. Месарович определяет задачу как некоторую систему и описывает ее тройкой (W, Y, T) , где T — некоторое преобразование; W — область его определения; Y — область значений преобразования. Данное определение плохо соответствует нашему интуитивному определению понятия «задача».

В настоящей работе предпринимается попытка определить термин «задача» и на базе этого определения построить систему классификации задач. Интуитивно под задачей T понимается четверка (X, Q, F, Y) [11, 12], в которой X обозначает конечное множество, характеризующее «то, что дано» в задаче; Q представляет собой конечное множество описаний «того, что необходимо найти», а F — это конечная последовательность правил, преобразующая X в Y . Таким образом, Y — это конечное множество, представляющее собой результат применения F к X . На элементы этого множества накладывается ограничение: они не могут быть ни алгоритмами, ни программами.

Исходя из данного определения легко выделить по крайней мере один класс задач, который характеризуется следующим отношением:

$$X \wedge Q \wedge F \vdash Y, \quad (1)$$

где символы $\wedge$ и $\vdash$ читаются соответственно как «и» и «дает».

Пусть задана система A (рис. 1), которая способна решать задачи выделенного класса, т. е. в зависимости от Q выбирать F (проблема хранения и выбора F рассматривалась в [9]), а затем применять его к X для получения Y .

Характерная особенность этой системы состоит в том, что она только применяет F , а не создает его. Следовательно, должна существовать такая система более высокого уровня (назовем ее системой B), которая способна формировать F .

Отсюда следует очевидность существования такого класса задач, решение которых системой А невозможно без предварительного получения системой В конечных последовательностей правил F .

Пользуясь введенной символикой и учитывая допустимые комбинации этих символов [11], получим следующие соотноше-

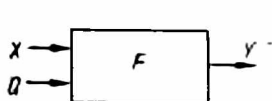


Рис. 1.

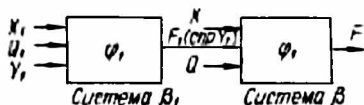


Рис. 2.

ния, характеризующие соответственно два класса задач:

$$X \wedge Q \wedge Y \vdash F \quad (2)$$

$$X \wedge Q \vdash Y. \quad (3)$$

Легко видеть, что соотношение (3) сводится к двум соотношениям:

$$а) X \wedge Q \vdash F, \quad (4)$$

$$б) X \wedge Q \wedge F \vdash Y,$$

подчеркивающим связь между системами В и А при решении задач. Если для классов задач, которые характеризуются соотношениями (1) и (2), легко найти примеры из существующего множества задач, то для класса задач (4, а) практически невозможно подобрать задачу, которую смогла бы решить система В без дополнительной информации.

В качестве примера рассмотрим следующую шахматную задачу: «Задано расположение фигур на шахматной доске. Необходимо объявить мат в 2 хода». Элементами множества X для данной задачи служат исходная шахматная ситуация и количество ходов. Множество Q представлено единственным элементом: «Объявить мат». Эта задача сводится к двум задачам: 4, а и 4, б.

В первой задаче система В должна создать последовательность правил поиска матовой ситуации, но она, несмотря на весь свой «интеллект», не сможет это сделать, так как не имеет понятия матовой ситуации. Множества всех конкретных «матовых ситуаций» Y практически невозможно перечислить заранее и поэтому для решения поставленной задачи система В должна располагать понятием о матовых ситуациях ($сnpY$), представленном в виде конечной системы правил.

Следовательно, соотношение (4,а), а за ним и соотношение (3) запишутся соответственно как

$$X \wedge Q \wedge сnp Y \vdash F, \quad (5)$$

$$X \wedge Q \wedge сnp Y \vdash Y. \quad (6)$$

Введение в данные соотношения *спрУ* несколько условно и служит, главным образом, для установления приоритета различных классов задач, а не для определения самого понятия «задача».

В самом деле, *спрУ*, которым должна располагать система для решения данной шахматной задачи, должен быть заранее сформирован этой же или другой аналогичной системой (B_1), т. е. предварительно должна быть решена задача из класса, который описывается соотношением (2), а затем уже данная задача. На рис. 2 приведена схема решения данной задачи системой В с помощью системы B_1 . Элементами множества X_1 служат матовые и не матовые ситуации, каждой из которых ставится в соответствие элемент из множества Y_1 , обозначающий принадлежность шахматной ситуации к матовым или не матовым, а единственный элемент множества Q_1 ставит перед системой цель: «сформировать понятие матовой ситуации».

Очевидно, что системы B_1 и В должны обладать определенным набором алгоритмов и «начальных знаний» φ_1 и φ , которые позволили бы им получать F или из X_1 , Q_1 , и Y_1 (для данного примера F представлена *спрУ*), или из X и Q (при наличии *спрУ*).

Перейдем к определению интеллектуальной задачи.

О п р е д е л е н и е. *Задачи, в решении которых принимает участие система В, будем называть интеллектуальными.*

Легко видеть, что классы задач, которые характеризуются соотношениями (2), (5) и (6), представляют собой классы интеллектуальных задач. Дальнейшая наша цель сводится к попытке построить систему классификации интеллектуальных задач, ни в коей мере не претендуя на полноту и завершенность предлагаемой системы.

Важность установления научной основы для классификации можно показать на очень многих примерах [13], включая и попытки классификации задач [7, 9, 10]. Так, например, Д. Пойа выделяет класс математических задач, который, в свою очередь, делит на два подкласса: задачи на нахождение и задачи на доказательство [7].

В другой работе [9] предпринята попытка классификации задач, основанная на кибернетическом понятии задачи. Авторы выделяют четыре класса задач: 1) задачи включения алгоритма решения которых сводится к применению известной программы; 2) задачи пропрограммирования известного алгоритма на язык вычислительных машин; 3) задачи поиска алгоритма решения с опорой на библиотеку стандартных программ машины; 4) задачи разработки способа решения вместе с его последующим программированием.

Задачи двух первых классов авторы относят к неproblemным, а двух вторых — к problemным. (Согласно введенному нами определению задачи первого класса относятся к неинтеллектуальным.)

альным, а^{*}2, 3 и 4 — к интеллектуальным). Далее авторы предлагают все задачи разделять на хорошо определенные, если имеются алгоритмы проверки решения, и плохо определенные, если такого алгоритма нет. Кроме этого, они различают «четыре типа задач по виду «того, что дано» и «того, что требуется найти». К этим типам задач относятся задачи: 1) исполнения (например, возвести 1,45 в куб, пользуясь таблицей кубов); 2) восстановления (например, извлечь кубический корень из 1,45, пользуясь таблицей кубов); 3) преобразования (например, доказать, что $(a-b)(a+b) = a^2 - b^2$); 4) конструирования (например, записать произвольное уравнение третьей степени). И, наконец, по количественным характеристикам выделяются задачи вычислительные («мало данных, много вычислений») и обработки данных («много данных, мало вычислений»).

Своеобразное разделение задач на три типа предлагает М. Месарович [10], основываясь на существовании системы для решения задач, которая, как уже отмечалось ранее, описывается тройкой $S_p\{W, Y, T\}$.

Задачи первого типа относятся к ситуации, в которой имеется информация о T и W , а требуется получить информацию о Y . Очевидно, что этот тип полностью соответствует классу неинтеллектуальных задач.

Задачи второго типа характеризуются тем, что имеется информация относительно Y и T , а ищется информация о W . В рамках введенного определения данный тип задач не имеет самостоятельного значения и легко сводится к предлагаемым нами классам задач путем переобозначения Y и W .

И, наконец, задачи третьего типа, в которых имеется информация относительно W и Y , а ищется информация о T , соответствуют классу интеллектуальных задач.

Учитывая результаты, полученные другими авторами [7, 9, 10, 14], мы предлагаем множество интеллектуальных задач разбить на два основных класса. Задачи I класса характеризуются соотношением (2), а II — соотношением (5). Особое место занимает класс интеллектуальных задач, описываемый соотношением (6).

Перейдем к рассмотрению подклассов интеллектуальных задач I класса.

Подкласс I — I. Будем считать, что к данному подклассу относятся такие задачи, для которых выполняются следующие условия.

1. Множество X состоит не менее чем из двух элементов, т. е. $|X| \geq 2$.

2. Для каждого $x_j \in X$ существует единственный элемент $y_i \in Y$, для которого справедливо соотношение $y_i = \alpha(x_j)$, т. е. $\forall x_j \exists! y_i (y_i = \alpha(x_j))$, где $\forall$ — квантор общности; $\exists!$ — квантор единственности, а α — конечная последовательность

правил, которая используется внешней по отношению к системе В системой ВС для установления соответствия между x_j и y_i . Пока, как правило, функции системы ВС выполняет человек.

3. Для любого $y_i \in Y$ существует такой элемент $x_j \in X$, что $y_i = \alpha(x_j)$, т. е. $\forall y_i \exists x_j (y_i = \alpha(x_j))$, где $\exists$ обозначает квантор существования.

Применяя функцию α , ВС каждому элементу множества X выбирает пару из Y , что в результате приводит к формированию такого множества Y' , что $Y \subseteq Y'$ и $\forall y_i \exists x_j (y_i = \alpha(x_j))$. Сформированное множество Y' вместе с множествами X и Q подается на вход системы В.

Процесс решения рассматриваемых задач системой В сводится к нахождению F , эквивалентного α .

Подкласс I-1-1. Следуя за [16], этот подкласс задач назовем задачами индуктивного формирования понятий (ИФП). Индуктивное формирование понятий является конечным и главным этапом более общей задачи — задачи обучения распознаванию образов. Существуют различные трактовки задачи распознавания образов. В одной из них [17] понятие формируется человеком на основании априорной информации о классах объектов, а на долж вычислительной машины остается, используя готовое понятие, определить, к какому классу отнести неизвестный объект, подлежащий распознаванию. Причем «... в качестве понятия выбирается, обычно без достаточного обоснования, некоторая конъюнкция значений признаков» [16, с. 108].

В другой [18] — понятие формируется вычислительной машиной, при этом процесс формирования понятия сводится или к выделению существенных признаков и составлению понятия связывающего тем или иным способом значения выделенных признаков, или к непосредственному построению решающей функции, связывающей значения указанного заранее набора признаков.

Непосредственно же «... термин «распознавание» оставлен для обозначения значительно более простой деятельности — определения, принадлежит ли объект понятию с данным описанием» [20, с. 18—19]. Таким образом, используя введенную ранее терминологию, можно заключить, что проблема распознавания образов сводится к взаимодействию систем В и А, первая из которых решает интеллектуальную задачу формирования понятия, а вторая, используя сформированное системой В понятие, решает неинтеллектуальную задачу непосредственного распознавания (в понимании Р. Бенерджи [20]).

Данный подкласс задач включает в себя задачи ИФП для классов объектов, заданных явным набором признаков. Пусть задано конечное множество признаков $\tau = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$

каждый из которых может принимать конечное число различных значений. j -е значение i -го признака обозначим $mg_j(a_i)$. Тогда любой объект x , ($x \in X$) можно представить как конечную последовательность значений признаков: $x = mg_{j_1}(a_{i_1}) \rightarrow \dots \rightarrow mg_{j_k}(a_{i_k})$, где символ $\rightarrow$ читается как „за. . . следует...“:

$a_{i_\nu} \neq a_{i_\mu}$, при $\nu \neq \mu$ ($a_{i_\nu}, a_{i_\mu} \in \tau$; $i_\nu, i_\mu = \overline{1, m}$; $\nu, \mu = \overline{1, l}$).

Таким образом, если объекты заданы явным набором признаков, то это значит, что за каждым местом в последовательностях закреплён один и тот же для всех объектов признак, значения которого и отличают один объект от другого. Если для какого-либо объекта значение того или иного признака отсутствует, то тогда вместо значения признака ставится — *nil* —. Очевидно, что длина всех последовательностей, характеризующих объекты рассматриваемого класса, одинакова и определяется числом признаков, с помощью которых и описываются объекты множества X . Примеры систем ИФП данного класса рассматриваются в [16].

Подкласс 1-1-2. Задачи данного подкласса отличаются от предыдущего тем, что ИФП происходит в результате анализа объектов, заданных неявным набором признаков, а не явным, как было в предыдущем классе. Объекты, заданные неявным набором признаков, могут быть представлены в виде совокупности символов, плоскостных фигур [19, с. 281—314] и т. д.

Основное отличие данного подкласса задач от предыдущего состоит в том, что объекты, заданные неявным набором признаков, не могут быть представлены заранее в виде последовательности значений определенных признаков.

Поясним это на примере. Пусть априори для описания объектов нами был выбран признак: «быть подмножеством множества» и пусть заданы два множества объектов X_1 и X_2 (табл. 1), в результате анализа которых необходимо сформировать понятие, разделяющее объекты, относящиеся к множествам X_1 и X_2 , и позволяющие для любого нового объекта определить, относится ли он к множеству X_1 или нет.

Для данного примера процесс формирования понятия сводится к поиску такого значения признака, которое характеризует все объекты множества X_1 и не имеет места ни для одного объекта из множества X_2 . Такое значение признака будем называть существенным. Если термин «существенный» применяется к признаку, то это его существенное значение.

Каждый объект задан множеством символов, и чтобы описать эти объективы с помощью введенного признака, необходимо для каждого объекта задать значение этого признака, что практически невозможно, так как если множество состоит из n элементов, то количество его подмножеств (значений заданного признака) равно 2^n . Например, для первого объекта множества X_1 количество возможных значений признака составляет $2^{20} =$

Таблица 1

X_1	X_2
Накипеобразование Инспекторствовать Вспорхнуть Рупия Узкопрофессиональный	Узкоспециальный Ракетостроение Народнохозяйственный Вспыхивать История

= 1048576, а выбор конкретного значения признака зависит от решаемой задачи и производится в результате анализа объектов множеств X_1 и X_2 . Так для примера, заданного табл. 1, существенным значением признака является $\{n, p\}$, а для второго примера (см. табл. 2) оно равно $\{k, e, n\}$, в то же время для третьего примера (см. табл. 3) данный признак вообще не имеет существенного значения.

Таблица 2

X_1	X_2
Узкопрофессиональный Котангенс Вклевывание Изыскание Некормленный	Запальник Волновод Арксинус Лента Келья

Таблица 3

X_1	X_2
Материя Пулемет Заматовать Комитет Сматывать	Смолисть Ритм Мост Изменить Самолет

Для решения задачи, представленной табл. 3, система В, кроме уже известного признака, должна использовать еще два признака: 1) «располагаться в определенной последовательности», 2) «символам в последовательности находиться на определенном расстоянии друг от друга», и тогда существенным значением последнего из введенных признаков (для объектов множества X_1) будет: символ «т» следует за символом «м» через один символ. При решении реальных задач системе В для формирования понятия приходится разбивать множества X_1 и X_2 на подмножества таким образом, чтобы для объектов каждого из этих подмножеств можно было найти существенные значения признаков.

Очевидно, что перед тем как найти существенное значение последнего признака, система В должна была сначала найти зна

чение признака: «располагаться в определенной последовательности».

Таким образом, как видно из рассмотренных примеров, объекты, заданные неявным набором признаков, не могут быть представлены в виде последовательности наборов признаков до того, как задача ИФП не решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. М., «Энергия», 1974. 135 с.
2. Интегральные работы. Сб. статей под ред. Г. Е. Поздняка. Вып. 1. М., «Мир», 1973. 421 с.
3. Интегральные работы. Сб. статей под ред. Г. Е. Поздняка. Вып. 2. М., «Мир», 1975. 528 с.
4. Рейтман У. Познание и мышление. М., «Мир», 1968. 400 с.
5. Нильсон Н. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973. 270 с.
6. Слэйчл Дж. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973. 319 с.
7. Пойа Д. Математическое открытие. М., «Наука», 1970. 452 с.
8. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., «Мир», 1975. 463 с.
9. Глушков В. М. и др. Человек и вычислительная техника. Киев, «Наукова думка», 171. 294 с.
10. Месарович М. Д. К формальной теории решения задач. — «Зарубежная радиоэлектроника», 1967, № 9, с. 32—50.
11. Варсак М. И., Ловицкий В. А. Вопросы анализа и синтеза задачно-решающей системы оперативного управления основным производством. I. — В кн.: Автоматизированные системы управления и приборы автоматик. Вып. 34. Харьков, 1975, с. 114—121.
12. Иден М. Другие задачи распознавания образов и некоторые обобщения. — «Распознавание образов», М., «Мир», 1970, с. 246—285.
13. Newell A., Shaw J., Simon H. Report on a general problem solving program, Proc. Int. Conf. on Inform. Processing. UNESCO, Paris, 1960, p. 256—264.
14. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М., «Наука», 1971. 254 с.
15. Гладун В. П., Вашенко Н. Д. Методы формирования понятий на ЦВМ (обзор). — «Кибернетика», 1975, № 2, с. 107—112.
16. Горелик А. Л., Скрипник В. А. Построение систем распознавания. М., «Сов. радио», 1974. 223 с.
17. Загоруйко Н. Г. Методы распознавания и их применение. М., «Сов. радио», 1972. 206 с.
18. Бонгард М. Н. Проблема узнавания. М., «Наука», 1967. 320 с.
19. Бенерджи Р. Теория решения задач. М., «Мир», 1972. 224 с.

Поступила 6 июня 1976 г.

УДК 62.506.2

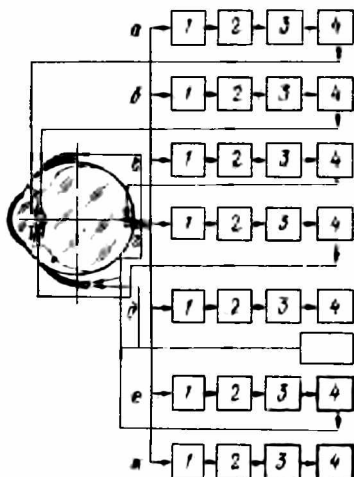
В. Ф. АНАНИН

ЗРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР КАК МНОГОКОНТУРНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗАННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Зрительный анализатор (ЗА) с его разветвленной структурной организацией и комплексным взаимосвязанным регулированием функциональных параметров в ответ на внешнее возбуждение представляет большой интерес не только как один из

наиболее диагностически информативных каналов при оценке состояния организма, но и с бионической точки зрения. В общем виде ЗА как биологический аналог многоконтурной системы связанного автоматического регулирования может быть представлен в виде блок-схемы (рисунок).

Под многоконтурными системами связанного автоматического регулирования [1] имеются в виду также системы, когда несколько автоматических регуляторов, каждый из которых рабо-



Многоконтурная биологическая система связанного автоматического регулирования зрительного анализатора:

а — контур регулирования зрачкового рефлекса: 1 — измерительный элемент (сетчатка); 2 — преобразующий элемент (промежуточные звенья пупиллоторного тракта); 3 — исполнительный элемент (сфинктер); 4 — регулирующий элемент (зрачок);

б — контур регулирования аккомодационного рефлекса: 1 — измерительный элемент (сетчатка); 2 — преобразующий элемент (промежуточные звенья аккомодационного контура); 3 — исполнительный элемент (цилиарный мускул); 4 — регулирующий элемент (хрусталик + изменение длины глаза);

в — контур регулирования рецептивного поля: 1 — измерительный элемент (рецептив-

ное поле сетчатки); 2 — преобразующий элемент (промежуточные звенья тракта); 3 — исполнительный элемент; 4 — регулирующий элемент (биопляры); **г** — контур регулирования внутриглазного давления: 1 — измерительный элемент (барорецептор); 2 — преобразующий элемент (промежуточные звенья тракта ВГД); 3 — исполнительный элемент (цилиарный мускул); 4 — регулирующий элемент (дренажная система);

д — контур регулирования глазодвигательной системы в режиме слежения: 1 — задающий элемент (перемещение изображения объекта по сетчатке); 2 — измерительный элемент (сетчатка); 3 — преобразующий элемент (промежуточные звенья ГДА); 4 — исполнительный элемент (мышцы глаза); 5 — регулирующий элемент (оптическая ось глаза);

е — контур регулирования произвольной саккадической системы глазодвигательного аппарата: 1 — сетчатка (афферент информации); 2 — зрительный тракт; 3 — центр переработки информации (центр «А»); 4 — центр генерации скачков (центр «Б»);

ж — контур регулирования динамического диапазона зрительного анализатора: 1 — измерительный элемент (сетчатка); 2 — преобразующий элемент (промежуточные звенья регуляторов); 3 — исполнительный элемент (сфинктер, цилиарный мускул, система цветовой кода); 4 — регулирующий элемент (зрачок, биопляры, мышцы глаза, цветовой код).

тает самостоятельно и вместе с тем взаимосвязан с другими регуляторами, имеют общий регулируемый объект. В зрительном анализаторе таким объектом является глазное яблоко, а роль регуляторов выполняют его рефлексы (зрачковый, аккомодационный, фиксационный и др.). Несмотря на очевидную аналогию отдельных рефлексов ЗА, работающих по принципу рефлекторной дуги, с системами автоматического регулирования и слежения, разработка структурной схемы их технических аналогов, определение передаточных функций — задача не простая. Дело в том, что структурные цепи рефлексов зрительного анализатора еще недостаточно четко определены как с анатомической, так и физиологической точек зрения. Кроме того, исследование этих рефлексов усложняется из-за невозможности анализа отдельных звеньев ввиду их недоступности. Сознвая сложность разработки технических аналогов отдельных рефлексов ЗА, так и всей системы в целом, мы не ставили цели — дать их математическое обоснование с учетом всех требований оценки системы автоматического регулирования. Считаем это преждевременным, так как не решены многие вопросы физиологического характера. Поэтому была поставлена задача — попытаться представить технические аналоги в виде биотехнических моделей, которые в какой-то степени объясняют работу рефлексов ЗА и их взаимосвязь, а также одновременно показать перспективность, а точнее необходимость применения принципов и методов исследований для анализа систем регулирования в решении вопросов физиологии зрения и практической медицины. Кратко остановимся на характеристике каждого регулятора.

Контур регулирования зрачкового рефлекса (рисунок, позиция а). Изменение светового потока, поступающего на сетчатку глаза, определяется, как известно, диаметром зрачка глаза, который можно рассматривать как один из элементов в цепи, регулирующей динамический диапазон зрительной системы. Перепад диаметра зрачка с 8 до 1 миллиметра изменяет величину светового потока на сетчатке глаза в 64 раза. На первый взгляд может показаться, что роль зрачка в обеспечении динамического диапазона глаза, составляющего 10^8 [2], незначительна. Но учитывая, что реализация динамического диапазона осуществляется комплексом элементов ЗА: изменением размера рецептивного поля, переходом от палочек к колбочкам, а также от одной области цвета к другой, диаметром зрачка, роль последнего для каждой конкретной ситуации с учетом адаптации других элементов становится существенной.

Контур регулирования зрачкового рефлекса может быть оценен как простейший вариант статической системы автоматического регулирования, в которой регулируемый параметр — диаметр зрачка при различных внешних возмущающих воздействиях на регулируемый объект принимает по окончании переходного процесса значения, зависящие от величины внешнего возмуща-

ющего воздействия. Иначе говоря, эта биологическая система в каждом конкретном случае устанавливает оптимальное значение диаметра зрачка, при котором не происходят перегрузки других элементов ЗА, взаимосвязанных с контуром зрачкового рефлекса. Система как-бы работает на «оптимум». В качестве сигнала рассогласования при световом воздействии, очевидно, следует признать изменение плотности светового потока на сетчатке. Но вопрос в том, каким образом это изменение трансформируется в сигнал рассогласования непосредственно для пупилломоторного тракта.

Можно допустить, что изменение плотности светового потока на сетчатке связано с изменением плотности фотонов на единичном рецептивном поле и как следствие этого меняется частота импульсов на выходе ганглиозной клетки [3, 4]. Представляет интерес, на каком участке пупилломоторного тракта формируется сигнал рассогласования, управляющий исполнительным элементом этого контура — сфинктером.

Функциональное назначение этого контура состоит не только в том, что он «берет» на себя регулирование части динамического диапазона, но выполняет также роль регулятора глубины резкости оптической системы глаза.

Контур регулирования аккомодационного рефлекса (рисунком позиция б) управляет оптическим аппаратом глаза, обеспечивая получение сфокусированного изображения на его сетчатке разных удаленных предметов. В качестве критерия оценки качества фокусирования оптической системой глаза изображения предмета на сетчатке предложена максимальная частота импульсов в определенном зрительном волокне. При этом имеется в виду, что размер изображения световой точки на темном фоне соизмерим с размером рецептивного поля. По-видимому, более правильно в данном случае говорить о градиенте частоты импульсов в зрительных волокнах, сопряженных с соседними зонами суммации [3, 4].

Поскольку максимальная величина градиента входного сигнала для данного контура возможна только при сфокусированном изображении, то его максимальная величина в каждом конкретном случае может служить критерием настройки аккомодационного контура. Отсюда следует, что само функциональное назначение контура направлено на получение и последующее поддержание максимального значения его входного сигнала в каждом конкретном случае.

Это, в свою очередь, позволяет говорить о замкнутом автоматическом контуре регулирования аккомодационного процесса, построенного по принципу статической системы автоматического регулирования. Причем это относится к работе аккомодационного аппарата в режиме слежения за тест-объектом. В общем виде самонастраивающую систему аккомодации в режиме слежения по аналогии с техническими системами регулирования можно

представить на рисунке, позиция б. Здесь регулируемым объектом является оптический аппарат глазного яблока, а в качестве регулируемой величины, которую аккомодационный контур поддерживает на уровне максимального значения для каждого конкретного случая, служит сигнал с выхода сетчатки в виде градиента частоты импульсов от соседних зон суммации. Роль же исполнительного элемента, с помощью которого обеспечивается указанное выше условие, выполняет цилиарный мускул, который связан со входным сигналом.

Контур регулирования размера рецептивного поля. Точка зрения о перестройке рецептивных полей в зависимости от освещенности на сетчатке глаза по принципу следящей системы была высказана Глезером [5]. Структурная схема этого контура (рисунок, позиция в) во многом схожа с контуром регулирования зрачкового рефлекса. Однако до сих пор остается неясным вопрос о критерии оценки работы этого контура. Непонятно, каким образом изменение плотности фотонов на рецептивном поле приводит к перестройке его размера и что в данном случае следует считать в качестве входного сигнала и исполнительного элемента.

Можно допустить, что с ростом освещенности возрастает плотность фотонов на единичном рецептивном поле, что, в свою очередь, «предъявляет» более жесткие, с точки зрения инерционности, требования к цепи, формирующей пакет импульсов. А это, естественно, приводит либо к уменьшению импульсации, что резко сильно сокращению размера рецептивного поля, либо к ее прекращению, как это, по-видимому, имеет место для палочковых рецептивных полей. Возможен и такой вариант, при котором увеличение плотности фотонов на сетчатке приводит к деформации пигментного эпителия, т. е. уменьшению его толщины и последовательному, в зависимости от освещенности, нарушению контакта между рецепторами и пигментным эпителием [3, 4, 11]. При этом в первую очередь нарушается контакт в тех участках сетчатки, на которых при слабых уровнях освещенности контакт между рецепторами и поверхностью клеток пигментного эпителия недостаточно жесткий.

Функциональное назначение этого контура сводится к реализации части динамического диапазона зрительной системы и к изменению разрешающей способности глаза.

Контур регулирования внутриглазного давления (рисунок, позиция г). Известно [6], что величина внутриглазного давления (ВГД) у каждого человека в норме сохраняется на каком-то одном относительно постоянном значении. Правда, в течение дня она изменяется, уменьшаясь ночью и возрастая к утру, в среднем на 3 единицы. Сам факт поддержания постоянного значения величины ВГД приводит к мысли, что этот параметр является регулируемым, а его значение определяется соответствующим замкнутым контуром. Наиболее близким техническим аналогом кон-

тура ВГД можно принять астатическую систему автоматического регулирования, в которой при различных по величине внешних возмущающих воздействиях на регулируемый объект отклонение регулируемого параметра ВГД от заданного значения по окончании переходного процесса становится равным нулю.

Величина ВГД, как известно [6], определяется комплексом параметров: ригидностью склеры, кровенаполнением в сосудах глаза, состоянием ресничного тела, индуцирующего в глазное яблоко водянистую влагу, дренажной системой и др. Тем не менее ВГД в первую очередь определяется состоянием проводного канала водянистой влаги на участке от ресничного тела до наружного коллекторного канала. Именно от регуляции параметров ресничного тела, определяющего приток водянистой влаги в заднюю камеру глазного яблока, и дренажной системы, регулирующей отток жидкости, в значительной степени зависит величина ВГД. По-видимому, этот канал и составляет основное звено контура регулирования ВГД.

Если это так, то мы должны допустить наличие соответствующих датчиков как в системе, продуцирующей водянистую влагу, так и в дренажной системе. А это значит, что в данных системах должна быть и соответствующая иннервация. И действительно, функциональная система «цилиарное тело — дренажный аппарат глаза», обеспечивающая циркуляцию внутриглазной жидкости, обильно снабжена симпатическими, парасимпатическими и чувствительными нервными окончаниями [7, 8]. Более того, в активной регуляции офтальмотонуса, по мнению А. П. Нестерова [6], можно считать установленной роль гипоталамуса, который влияет преимущественно на секрецию водянистой влаги и коры надпочечников.

Допуская наличие датчиков в продуцирующей и дренажной системах и рассматривая последние как единый контур регулирования, обеспечивающий взаимосвязь между этими системами, соответственно должны быть и исполнительные элементы в каждой из этих систем. Роль такого исполнительного элемента в продуцирующей системе должно выполнять звено, которое обеспечивало бы в зависимости от сигнала датчиков этой системы, определяемого величиной ВГД, соответствующий приток водянистой влаги. Причем этот приток в глазное яблоко должен попадать под определенным напором, преодолевающим ВГД. А это значит, что поступать он может дискретно, в виде отдельных порций водянистой влаги, создаваемых исполнительным звеном продуцирующей системы. При этом от исполнительного звена для проталкивания подобной порции в заднюю камеру глазного яблока требуется определенная затрата энергии, которая может быть создана, по-видимому, только мышцей. Не исключено, что подобную функцию в ресничном теле выполняет одна из ее мышц.

Дренажная система может работать либо по такому же принципу, как и продуцирующая, либо она рефлекторно связана

с дискретным принципом поступления водянистой влаги. Иначе говоря, под действием притока каждой порции водянистой влаги рефлекторно осуществляется ее эквивалентный отток через дренажную систему. Регулирование этого оттока определяется степенью диафрагмирования дренажной системы. Если это так, то продуцирующую систему можно рассматривать как активную, а дренажную — как пассивную. Причем в дренажной системе между ее внутренней (в передней камере) и наружной (шлеммов канал) частями в соответствии с законами гидравлики должна быть определенная разность давлений, обеспечивающая отток жидкости. Возможно, дренажная система функционирует аналогично продуцирующей по принципу автоконтура, но в этом случае в ней должны быть как датчики, так и исполнительные элементы, определяющие степень диафрагмирования дренажной системы, и в частности корнеосклеральных трабекул, регулирующих степень оттока жидкости.

Контур регулирования глазодвигательного аппарата в режиме слежения можно рассматривать как простейший вариант следящей системы, элементная схема которой приведена на рисунке, юзция *d*. В этой системе представляет особый интерес возникновение сигнала рассогласования, который в любой следующей системе является задающим в ее работе и который она стремится свести к нулю. Тот факт, что сигнал рассогласования действительно имеет место в режиме слежения глазодвигательного аппарата и что именно он определяет характер движения глаз при лежении, лишний раз убеждает в правомочности аналогии его с следящей системой. Именно при наличии сигнала рассогласования возможны плавные прослеживания глаза за объектом, в то время как при его отсутствии плавность в слежении глаз пропадет. Наличие латентного периода между началом движения бъекта и слежением глаза за ним [9] указывает на то, что в течение этого отрезка времени формируется сигнал рассогласования. ам механизм его образования представляет особый интерес. огласно [10], прослеживающие движения глаз — результат рабатывания детекторов в сетчатке, ответственных за обнаружение перемещающихся по сетчатке изображений движущих- объектов.

Мы полагаем, что сигнал рассогласования формируется в ф-альной области сетчатки в результате непропорционального збуждения числа рецепторов, суммарный сигнал с которых по-упает преимущественно в одну из половин зрительных центров. аспределение рецепторов в области фовеа и их связи с обоими олушариями представляется нам в виде «шахматной» картины, и которой с удалением от центра фовеа в ту или иную сторону ответственно возрастает преимущественное распределение ре-епторов, связанных с какой-то одной половиной полушария. При ком распределении рецепторов в фовеа сигнал рассогласования

для изображения, скажем, световой точки на темном фоне, находящегося в центре, будет равен нулю, так как в оба полушария retina поступает одинаковая импульсация.

При движении изображения по сетчатке оно сместится относительно центра фovea, в результате чего будет возбуждено большее число рецепторов какой-то одной половины полушария retina и соответственно в это полушарие будет поступать больший сигнал, который и формирует в конечном итоге сигнал расфокусировки. По-видимому, глазодвигательную систему в режиме слежения можно рассматривать как частный вариант произвольной системы, зависящей от движущегося объекта произвольных движений глазодвигательного аппарата. Этот вид движений глаз находится под контролем произвольных движений глаз.

Контур регулирования произвольной саккадической системы глазодвигательного аппарата — (НСД) (рисунок, позиция e). Этот контур управляет произвольными саккадическими движениями глаз, которые имеют место при фиксации тест-объекта. В отличие от предыдущих контуров контур регулирования НСД построен принципиально по иному принципу. Он не является замкнутой системой. Здесь скачки генерируются специальным центром, который не управляется непосредственноafferentной информацией, но находится под ее влиянием. Последнее проявляется в виде обратной связи между центром «А», ответственным за обработку и осмысливание поступающей от сетчатки информации, и центром «Б», генерирующим скачки.

Функциональное назначение этого контура в зрительном анализаторе состоит в модуляции зрительной информации на уровне сетчатки глаза в виде отдельных групп импульсов, снимаемых с рецептивных полей.

Контур регулирования динамического диапазона ЗА (рисунок, позиция ж) можно рассматривать как результат совместной работы ряда контуров (среди них зрачковый, контур рецептивного поля, контур НСД). Динамический диапазон ЗА реализуется с помощью изменения диаметра зрачка, размера рецептивного поля, перехода от более чувствительных рецепторов — палочек — к менее чувствительным колбочкам различных цветовых зон. Для этого контура суммарный входной сигнал определяет плотностью фотонов на сетчатке глаза и, в частности, рецептивном поле величинами импульсов фотонов. Этот сигнал формирует управляющие сигналы для указанных выше контуров.

Для всех рассмотренных выше контуров сетчатка является основным звеном, выполняющим не только роль своеобразного индикатора, подобно фотоприемникам в технических системах. Ее назначение в контурах ЗА более широкое. Она одновременно выполняет и роль биологического варианта аналого-цифрового преобразователя, в которой полезный сигнал не только возникает на основе ранее рассмотренного физического явления пьезоэффекта, но и проходит определенные стадии формирования

аналогового сигнала на выходе фоторецептора до дискретной формы в виде пакета и группы импульсов на выходе ганглиозной клетки.

Анализ рассмотренных выше контуров регулирования отдельных параметров зрительного анализатора на первый взгляд приводит к мысли, что они работают как бы по принципу автоматизма, направленного на обеспечение соответствующих центров мозга афферентной информацией. Но более детальный анализ показывает, что все они в определенной степени находятся под контролем высших центров мозга, причем отдельные из них меньше, а другие больше.

В данной работе мы не рассматривали взаимосвязи между контурами, которые, как известно, своей совместной работой определяют в конечном итоге зрительный процесс. Этот вопрос представляет особый интерес как с теоретической, так и клинической точек зрения и требует отдельного рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вершинин Н. И., Верцайзер А. А., Яковлев В. М. Автоматическое регулирование. М., Госэнергоиздат, 1959. 128 с.
- Чораян О. Г. Кибернетика нервных клеток. Изд-во Ростовск. ун-та, 1975. 123 с.
- Ананин В. Ф. Аккомодация как биологическая система автоматического регулирования. — «Физиол. журн. СССР», 1975, т. XI, № 8, с. 1190—1196.
- Ananin V. F., Avetisov E. S. The automa system of recording eye accommodation. Biocapt, 75, Paris. 3 ap, 7 nav.
- Глезер В. Д. Руководство по физиологии. Ч. I. «Физиология сенсорных систем». Л., «Наука», 1971. 416 с.
- Нестеров А. П., Бунин А. Я., Кацнельсон Л. А. Внутриглазное давление. М., «Наука», 1974. 144 с.
- Пригожина Н. В. Патологическая анатомия и патогенез глаукомы. М., «Медицина», 1966. 208 с.
- Sallman I., Fuortes M., Macry F., Grimes P. Amer. J. Ophthal., 1958. v. 45, № 45 (pt. 2), p. 211—220.
- Ярбус А. П. Роль движений глаз в зрительном процессе. М., «Наука», 1965. 166 с.
- Иванов А. В. О механизме зрительного восприятия движения. — «Изв. АН СССР. Биол. Серия биол.», 1975, № 5, с. 701—712.
- Ананин В. Ф. Непроизвольные саккадические движения глаз — биологический модулятор информации в зрительном процессе. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14. Харьков, 1975, с. 47—51.

Поступила 20 сентября 1975 г.

УДК 62.506.2

Ю. В. ИСИЧЕНКО, Л. П. ПОПОВА, Л. Д. ДОНИН, канд. техн. наук

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Существенную роль при исследовании иерархически организованных систем играет отображение или математическое описа-

ние иерархической структуры. Аппаратом для такого описания является теория множеств.

Для удобства применения теории множеств воспользуемся следующим подходом к изучению реальных объектов: реальный объект дробится на условно неделимые части — «атомы», т. е. на части, которые в данном исследовании нецелесообразно делить далее, затем изучаются части объекта и, наконец, на основании изучения частей составляется суждение о свойствах объекта. Свойства реального объекта зависят от свойств отдельных частей, но они также зависят от свойств пар частей, троек частей и т. д. до бесконечности. Так как исследование ограничено возможностями познающего, из бесконечного числа сочетаний частей приходится выбирать конечное число сочетаний.

Описанный способ изучения реальных объектов очень хорошо поддается математическому описанию: каждой части объекта ставится в соответствие один и только один элемент некоторого абстрактного множества M . Таким образом, всему объекту сопоставляется множество M . Это количественная характеристика объекта.

Качественная характеристика объекта — это выделение унитарных, бинарных, тернарных отношений на множестве M , которые отражают свойства частей, пар частей, троек частей и т. д. И чтобы отразить количественные и качественные стороны объекта, нужно рассматривать множество M с множеством отношений на нем. Такое множество называется математической моделью. Применим этот метод познания к изучению иерархической структуры. Согласно [1] иерархическую структуру (систему) можно определить следующим образом. Если M_i — множество реальных объектов (конечное) $i \in J$, где J — частично-упорядоченное множество индексов со строгим порядком $<$, то множество $M = \{M_i / i \in J\}$ называется иерархией объектов. Если отношение порядка $<$ на J таково, что из $i < j$ следует, что реальный объект M_j имеет приоритет перед реальным объектом M_i , то иерархия M называется иерархической структурой.

Посредством индуктивного метода можно выделить иерархические уровни. Первым уровнем будем считать множество объектов M_i , индексы которых являются минимальными элементами в J :

$$M_1 = \{M_i / i \in J_1\},$$

где J_1 — множество минимальных элементов J ; k -й уровень можно определить как множество

$$M_k = \{M_i / i \in J_k\},$$

где J_k — множество минимальных элементов

$$J / J_1 \cup J_2 \cup \dots \cup J_{k-1}.$$

Содержательный признак принадлежности объекта M_i уровню M_k вытекает из определения уровней: объект M_i принадлежит уровню M_k , если он имеет приоритет перед $k-1$ объектами M_j , принадлежащими различным уровням.

При определении и построении иерархической структуры учитывается реальное содержание объектов M_i . Но коль скоро она построена, то можно абстрагироваться от реального содержания объектов. Если мы теперь возвратимся к первоначальным определениям, то заметим, что существенную роль играет только частично упорядоченное множество индексов.

Абстрактная иерархическая структура — это не что иное, как частично упорядоченное множество J . Оно конечно, а конечное частично упорядоченное множество можно изобразить на плоскости диаграммой Хассе, причем строится она по тому же принципу, что и уровни, т. е. на первый уровень собираются минимальные элементы J , на второй уровень — минимальные элементы J/J_1 и т. д.

Мы будем предполагать, что наша иерархическая система централизована, т. е. существует объект, который имеет приоритет перед всеми остальными объектами. Этому факту соответствует существование наибольшего элемента на диаграмме Хассе множества J , а раз так, то диаграмма Хассе будет тем, что в математике называется полуструктурой, или полурешеткой. На диаграмме Хассе каждому звену иерархической структуры соответствует некоторая точка, а связям между звеньями — прямые линии между соответствующими точками. Связи между звеньями таковы, что они сохраняют отношения между частями звеньев. Поэтому при переходе к математическим моделям звеньев им будут соответствовать гомоморфизмы моделей.

Под гомоморфизмом одной модели M_1 с множеством отношений Ω' в другую модель M_2 , с множеством отношений Ω'' понимают такое отображение $f(M_1, \Omega')$ в (M_2, Ω'') , которое сохраняет отношение на M_1 , т. е.

$$\forall n, \forall \omega' \in \Omega(n),$$

$$(m_1, m_2, \dots, m_n) \in \omega' \rightarrow (f(m_1), f(m_2), \dots, f(m_n)) \in \omega'',$$

где $\forall$ — квантор общности;

$$\omega'' \in \Omega''(n),$$

$\Omega'(n), \Omega''(n)$ — множества n -арных отношений на M_1, M_2 соответственно.

Под моделью иерархической структуры будем понимать совокупность моделей отдельных звеньев M_{kl} и гомоморфизмов $f_{klk' l'}$ между всевозможными парами звеньев $M_{kl}, M_{k' l'}$. Для удобства условимся, что если между звеньями $M_{kl}, M_{k' l'}$ не существует связей, то гомоморфизм $f_{klk' l'}$ отображает модель M_{kl} в пустое подмножество модели $M_{k' l'}$. Если

II, наконец, последний случай. Все три гомоморфизма независимы.

Описанный подход позволяет проводить математическое описание иерархических структур, что представляет собой качественную основу для синтеза оптимальных систем управления. В частности, он играет существенную роль при увязке параметров между взаимно связанными подсистемами в многоуровневых системах принятия решений, модели которых строятся на принципе гомоморфных отображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. М., «Мир», 1973. 344 с.
Ван-дер Варден. Современная алгебра. Т. I. М., Гостехиздат, 1947. 339 с.

Поступила 20 мая 1976 г.

УДК 62.506.2

О. М. АБРАМОВ, А. Я. ДРЮЧЕНКО, С. А. УСЕНКО,
Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ЭФФЕКТ СГЛАЖИВАНИЯ В СЛУХЕ

Как известно, зрительный стимул в процессе преобразования его в ощущение подвергается сглаживанию. Механизм сглаживания выполняет роль фильтра, который ограничивает объем информации, поступающей из внешнего мира в мозг человека. Благодаря сглаживанию мы не замечаем смены отдельных кадров на киноэкране, воспринимаем газетный точечный растр как полутоновую фотографию.

Эффект сглаживания в зрении описывается законом Тальбота [1]. Для периодически изменяющихся во времени однородных зрительных стимулов постоянного спектрального состава закон Тальбота формируется следующим образом [2]. Пусть $B_T(t)$ — яркость стимула S_1 , изменяющаяся во времени t с периодом T по произвольному закону. При достаточно малом T ощущение стимула S_1 совпадает с ощущением неизменного во времени стимула S , яркость B которого равна

$$B = \frac{1}{T} \int_0^T B_T(t) dt. \quad (1)$$

В работе [3] закон Тальбота обобщен на случай непериодических зрительных стимулов и представлен следующим равенством:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \int_{t_1}^{t_2} B_N(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} B(t) dt. \quad (2)$$

Здесь t_1 и t_2 — произвольные фиксированные моменты времени; $B(t)$ и $B_N(t)$ ($N = 1, 2, \dots$) — функции зависимости яркости от времени для стимулов S и S_N .

Если равенство (2) выполняется, то при достаточно большом N ощущение стимула S_N совпадает с ощущением стимула S .

Закон Тальбота описывает одно из фундаментальных свойств зрения, он широко известен и применяется в технике (кино, телевидение, светотехника, полиграфия и др.).

Казалось бы, естественно ожидать, что эффект сглаживания должен обнаруживаться не только в зрении, но также и в слухе. Однако обращаясь к руководствам по психоакустике, мы не находим там достаточно ясных указаний на существование этого эффекта.

Попытаемся ответить на вопрос, выполняется ли для слуха закон Тальбота в форме (1). Функцию $B_T(t)$ будем теперь интерпретировать как осциллограмму периодически изменяющегося во времени звукового давления слухового стимула S_1 . Сигнал S интерпретируем как слуховой стимул, звуковое давление которого постоянно во времени. При достаточно малом T , например при $T = 30$ мксек, ощущение стимулов S_1 и S совпадают, оба они неслышимы. Таким образом, хотя закон Тальбота в форме (1) и выполняется, однако в применении к слуху этот закон вырождается в совершенно бессодержательное утверждение. Возможно, что именно этим обстоятельством объясняется в значительной степени почти полное отсутствие у исследователей стремления к поискам эффекта сглаживания в слухе.

Несмотря на столь обескураживающее обстоятельство, авторы все же рассмотрели вопрос о применимости к слуху обобщенного закона Тальбота в форме (2). Результаты этого рассмотрения изложены в настоящей работе. В ней авторы пытаются показать, что обобщенный закон Тальбота в форме (2) — вовсе бессодержательное утверждение. Напротив, этот закон описывает, по-видимому, фундаментальный эффект сглаживания в слухе, который перспективен для применений в технике.

Пусть $A(t)$ — произвольно выбранная осциллограмма звукового давления; $M_T(t)$ — функция с периодом T , заданная следующими условиями:

$$M_T(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } nT \leq t < (n + \lambda)T \\ 0, & \text{если } (n + \lambda)T \leq t < (n + 1)T. \end{cases}$$

Здесь n — произвольное целое число; λ — вещественное число, принимающее значения в пределах от 0 до 1.

Образуем последовательность $T_1, T_2, \dots, T_N, \dots$ таким образом, чтобы

$$\lim_{N \rightarrow \infty} T_N = 0$$

и рассмотрим слуховой стимул S_N , характеризующийся следующей осциллограммой звукового давления:

$$B_N(t) = A(t) M_{TN}(t) = \begin{cases} A(t), & \text{если } nT_N \leq t < (n+1)T_N \\ 0, & \text{если } (n+1)T_N \leq t < (n+2)T_N \end{cases} \quad (5)$$

Сигнал $B_N(t)$ может быть практически сформирован прерыванием сигнала $A(t)$ с периодом прерывания T_N и параметром λ (рис. 1, а, б).

Введем в рассмотрение также слуховой стимул S , характеризующийся осциллограммой звукового давления

$$B(t) = \lambda A(t). \quad (6)$$

Сигнал $B_N(t)$ практически можно получить, ослабляя в λ раз сигнал $A(t)$ (рис. 1, в).

Если обобщенный закон Тальбота справедлив, то при достаточно большом N ощущение стимула S_N должно совпасть с ощущением стимула S . Практически это означает, что при достаточно малом периоде прерывания с параметром λ любой слуховой стимул должен звучать так, как если он был ослаблен без прерывания в λ раз.

Действительно, нетрудно показать, что при любых t_1 и t_2

$$\lim_{T_N \rightarrow 0} \int_{t_1}^{t_2} B_N(t) dt = \lim_{T_N \rightarrow 0} \int_{t_1}^{t_2} A(t) M_{TN}(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} \lambda A(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} B(t) dt. \quad (7)$$

В целях экспериментальной проверки этого следствия обобщенного закона Тальбота были выполнены специальные опыты.

В одном из опытов в качестве сигнала $A(t)$ использовались шумы произвольно выбранного спектрального состава. Источником шума служил генератор Г2-12 белого шума, спектр которого деформировался до желаемого вида с помощью фильтров. Воспроизведение звучания осуществлялось с помощью телефона ТД-6. На рис. 2, а, б, в изображены диаграммы зависимости уровня спектральной плотности шума от частоты для некоторых из шумов, используемых в экспериментах.

Сигнал $B_N(t)$ формировался с помощью прерывания сигнала $A(t)$ с периодом T и параметром λ . Прерывание производилось

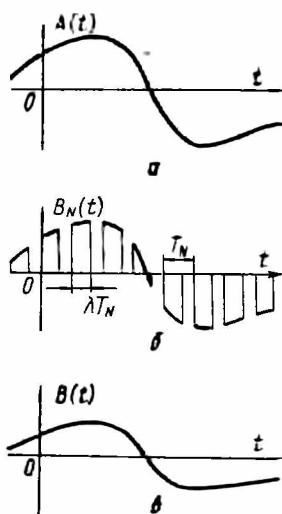


Рис. 1. Диаграммы звукового давления, используемые для демонстрации эффекта сглаживания в слухе: а — исходный; б — прерванный; в — ослабленный сигнал.

специально сконструированной схемой, управляемой прямоугольными импульсами от генератора Г5-6А (рис. 3). Длительности импульса и период следования импульсов измерялись частотометром — хронометром Ф599 с точностью до 0,1%. Точность дозирования параметра λ составляла величину порядка 0,1%. Сигнал $B(t) = kA(t)$ формировался многооборотным потенциометром ПС-3 обеспечивающим дозировку коэффициента усиления точностью около 0,3%.

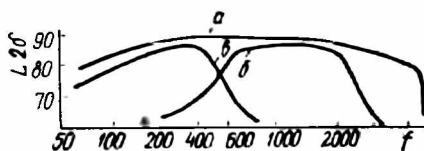


Рис. 2. Спектры шумов, использованных в экспериментах по проверке обобщенного закона Тальбота: 1, 3 — широкополосные спектры; 2 — полосовой спектр низкой частоты; f — частота; L — уровень спектральной плотности.

слушающим эти сигналы, ставилась задача обнаружить факт переключения телефона с одного сигнала на другой. Ощущения сигналов $B_N(t)$ и $B(t)$ будут равны в том случае, когда испытуемый не реагирует на факт переключения.

Эксперименты должны были дать ответ на следующие два вопроса: 1) можно ли при достаточно малом периоде прерывания T , регулируя коэффициент усиления k , достичь равенства ощущений, возбуждаемых сигналами $B_N(t)$ и $B(t)$; 2) если да, то будет ли при этом выполняться равенство $k = \lambda$, как того требует обобщенный закон Тальбота. Ответ на оба вопроса, полученный в результате проведенных экспериментов, оказался положительным.

Опишем подробно один из выполненных опытов. Для опыта взят сигнал $A(t)$ со спектром, указанным на рис. 2, а. Сигнал $B_T(t)$ сформирован по сигналу $A(t)$ при $\lambda = 0,400$. При назначении периода прерывания T в пределах от 100 мсек до 25 мсек сигнал $B_T(t)$ слышится как хлопающий шум, выравнивание его по ощущению с сигналом $B(t) = kA(t)$ невозможно ни при каком значении k , поскольку сигнал $B(t)$ слышится как однородное во времени звучание. При уменьшении T с 25 до 4 мсек хлопание сигнала $B_T(t)$ исчезает, тем не менее испытуемый при любом значении k улавливает момент переключения сигналов, опираясь на некоторое небольшое различие сигналов $B_T(t)$ и $B(t)$ по темпу. При T менее 2,5 мсек сигналы $B_T(t)$ и $B(t)$ отличаются своим звучанием лишь по громкости, и существует некоторая зона изменения для коэффициента усиления k , внутри которой сигналы не различаются испытуемым. Уменьшение величины T , осуществлявшееся вплоть до значения 20 мсек, не приводит к какому-либо изменению ощущения сигнала $B_T(t)$, зона неразличения для k остается той же самой.

Вопрос о характере ответов испытуемого при значениях k в окрестности зоны неразличения сигналов $B_N(t)$ и $B(t)$ был изучен особо. В результате была построена диаграмма, изображенная на рис. 4. На этой диаграмме показана вероятность σ обнаружения испытуемым факта переключения сигналов в зави-

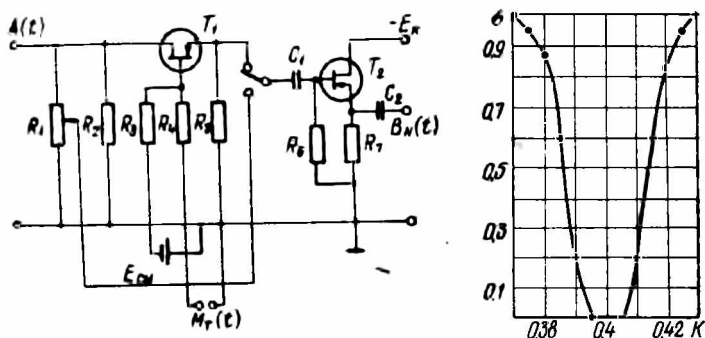


Рис. 3. Схема устройства для формирования прерванного сигнала:

$R_1 = 33 \text{ к}; R_2 = 1 \text{ к}; R_3 = R_4 = 200 \text{ к};$
 $R_5 = 51 \text{ к}; R_6 = 1 \text{ к}; R_7 = 4,7 \text{ к}; C_1 =$
 $= 0,1 \text{ мкф}; C_2 = 0,15 \text{ мкф}; T_1; T_2 — \text{КП105}.$

Рис. 4. Зона неразличения прерванного и ослабленного сигналов.

симости от величины коэффициента усиления k . Каждая точка диаграммы построена на базе ста предъявлений сигналов. Как видим, кривая опускается до нулевого значения в окрестности $k = 0,400$, что в точности совпадает со значением λ , принятым в данной серии испытаний. Таким образом, описанный опыт подтверждает справедливость обобщенного закона Тальбота.

Любопытно отметить, что точно такая же кривая $\sigma(k)$ получается, если вместо сигнала $B_N(t)$ взять непрерывный сигнал $B(t)$. Этот факт свидетельствует о том, что ощущение прерванного сигнала $B_N(t)$ идентично ощущению непрерывного сигнала $B(t)$, удовлетворяющего требованию (2) обобщенного закона Тальбота.

Подобные опыты проводились с шумами различного спектра на десяти испытуемых. Громкость звучания варьировалась в пределах от 20 до 90 дб, период прерывания изменялся в пределах от 50 до 2500 мсек, скважность прерывания — в пределах от 1,2 до 25. Ни в одном случае не отмечено каких-либо отклонений от обобщенного закона Тальбота, которые бы выходили за пределы аппаратных и методических погрешностей эксперимента.

Особо изучался вопрос о критической частоте $n_{кр} = \frac{1}{T_{кр}}$ прерывания шумов, где $T_{кр}$ — максимальный период прерывания

шума, при котором еще достигается полное выравнивание сигналов $B_N(t)$ и $B(t)$. Было установлено, что величина критической частоты резко меняется в зависимости от характера шума. Так, для широкополосных шумов, подобных тем, спектры которых представлены на рис. 2, а, б, $n_{кр}$ колеблется в пределах 0,4—2 кГц. Для узкополосных шумов низкой частоты (рис. 2, в) критическая частота резко возрастает: $n_{кр} \geq 20$ кГц. Отмечается уменьшение критической частоты с ростом громкости шума. Так, при изменении уровня громкости шума от 20 до 90 дБ, спектр которого указан на рис. 2 а, критическая частота уменьшается от 2—0,4 кГц.

Опыты с прерыванием звука выполнялись не только с шумами, но также и с периодическими сигналами различной частоты и различного спектрального состава. Производились опыты также и с произвольными сигналами, в качестве которых использовались различные музыкальные произведения и дикторская речь. Во всех без исключения случаях при достаточно высокой частоте прерывания сигнала и выполнении условия $k = \lambda$ наблюдается полное тождество прерванного и непрерывного сигналов. Вместе с тем, достаточно лишь незначительно (на 5%) изменить значение k , и испытуемый легко обнаруживает факт переключения сигналов.

Важно отметить, что в опытах со звуками, содержащими гармонические составляющие, критические частоты резко возрастают и составляют величину порядка $n_{кр} = 30$ кГц. Однако не исключено, что эта величина даже несколько занижена в связи с возможным ослаблением высших звуковых частот телефонами. Таким образом, в этом случае для достижения полного равенства ощущений приходится использовать частоты прерывания, значительно превосходящие верхний предел частот, слышимых человеческим ухом (20 кГц).

В заключение необходимо особо отметить следующие важные обстоятельства, которые, по нашему мнению, надолго задержали открытие эффекта сглаживания в слухе. Закон Тальбота в той традиционной формулировке, которая использовалась на протяжении многих десятилетий в физиологической оптике, будучи применен к слуху, вырождается в бессодержательное утверждение. Несмотря на это, в обобщенной форме закон Тальбота к слуху вполне применим и описывает интересный эффект сглаживания слуховых ощущений.

Как в первоначальной, так и в обобщенной формулировках закона Тальбота для зрения фигурирует не осциллограмма электромагнитных колебаний, а мощность светового стимула, изменяющаяся во времени. Однако попытка сформулировать закон Тальбота для слуха аналогичным образом — в терминах силы звука — терпит фиаско: в такой формулировке закон Тальбота противоречит фактам слуха. Чтобы обобщенный закон Тальбота соответствовал экспериментальным данным, нужно сформу-

лизовать его для осциллограммы звукового давления, а не силы звука.

Наконец, неожиданным оказалось и то, что критические частоты в случае неизмеримо выше, чем в зрении. В наиболее важных для практики случаях эти частоты для слуха примерно в тысячу раз превосходят критические частоты слияния световых мельканий и выходят за пределы частот, слышимых ухом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taft H. F. Experiments on light. Phil. Mag., 1834, № 5, p. 8—11.
2. Луизов А. В. Инерция зрения. М., Оборонгиз. 1961. 247 с.
3. Шабанов - Кушнаренок Ю. П. Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук, Киев. 45 с.

Поступила 26 марта 1976 г.

УДК 62.506.2+4Р

А. И. ЧУГУН, Т. А. НЕДЗЕЛЬСКАЯ

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА ГЛАГОЛЬНЫХ ФОРМ РУССКОГО ЯЗЫКА

Процесс автоматической переработки текстовой информации содержит этап грамматической обработки отдельных словоформ на морфологическом уровне, т. е. определение морфологических характеристик (анализ) словоформ, синтез словоформ по их формальным и морфологическим признакам, классификация новых слов и т. п. вне зависимости от контекста. Автоматизация решения перечисленных задач предполагает применение для этой цели ЭВМ и, естественно, требует построения моделей, которые на формальном уровне отображали бы процесс грамматической обработки отдельных словоформ. В настоящее время построены и реализованы на ЭВМ действующие модели анализа некоторых глагольных форм и прилагательных русского языка [1, 2]. Цель данной работы — описание одного из возможных методов построения формальной модели синтеза. Предлагается алгоритм синтеза всего слова и отдельных словоформ на примере синтеза личных форм невозвратных глаголов русского языка.

В задачу синтеза включается восстановление отдельных словоформ и всей парадигмы того или иного слова по его метке, под которой понимается база парадигмы [3]. Восстановление отдельных словоформ по их меткам возможно при наличии самой метки и правила восстановления, поэтому блок-схему модели синтеза можно представить в виде последовательно соединенных двух блоков — формирующего базу (ФБ) и содержащего правила получения из нее словоформ, собственно синтезатора словоформ (СС) (рис. 1). Входной сигнал блока ФБ x_{i0} интерпретируем как одну из словоформ парадигмы слова x_i . Выходной сигнал этого

блока y_{lr} (он же входной сигнал для блока CC) — как базу парадигмы слова x_i . Выходной сигнал блока CC x_{ij} интерпретируем как новую словоформу из парадигмы слова x_i . Для упрощения блока $\Phi Б$ ограничим множество словоформ, поступающих на его вход, множеством A ($x_{i0} \in A = \bigcup_{i=1}^n x_{i0}$).

Множество A конечно, и n ограничено словарем [4]. Эти ограничения позволяют нам использовать в качестве формирова-

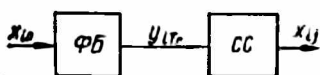


Рис. 1.



Рис. 2.

теля баз ($\Phi Б$) модель классификации глаголов по типам спряжения, описанную в работе [3]. На вход этой модели подаются словоформы из множества A . На выходе получают базы парадигм соответствующих слов с указанием номера типа спряжения T_s , к которому относится то или иное слово. Блок CC содержит простое правило порождения словоформы x_{ij} — к базе подсоединить окончание — и само окончание для нее.

В пределах поставленной задачи мы будем рассматривать парадигмы, состоящие из личных спрягаемых форм невозвратных глаголов, причем только из их синтетических представителей. Из этого следует, что каждая парадигма будет состоять из 13

словоформ, $\bigcup_{i=1}^{13} x_{ij} = x_i$ ($j = 1, 2, 3, \dots, 13$) и одна из $x_{ij} = x_{i0}$

Отдельные словоформы в парадигме характеризуются определенными, только им присущими наборами грамматических категорий S . Для удобства закодируем эти наборы натуральными числами в следующем порядке: 1 — инфинитив; 2 — первое лицо, единственное число, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 3 — второе лицо, единственное число, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 4 — третье лицо, единственное число, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 5 — первое лицо, множественное число, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 6 — второе лицо, множественное число, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 7 — третье лицо, не прошедшее время, изъявительное наклонение; 8 — единственное число, мужской род, прошедшее время, изъявительное наклонение; 9 — единственное число, женский род, прошедшее время, изъявительное наклонение; 10 — единственное число, средний род, прошедшее время, изъявительное наклонение; 11 — множественное число, прошедшее время, изъявительное наклонение; 12 — единственное число, второе лицо, повелительное наклонение;

13 — множественное число (единственное, форма вежливости), второе лицо, повелительное наклонение. При таком порядке кодирования

$$x_{i0} = x_{i1}$$

Восстановление слова по его метке требует порождения всех словоформ, входящих в его парадигму, а значит необходимо для каждого слова иметь 13 отдельных блоков СС. Все эти блоки включают в себя одно и то же правило порождения словоформ и отличаются только помещенными в них окончаниями, поэтому для восстановления слова лучше построить один блок, который будет содержать правило порождения и 13 окончаний парадигмы, расположенных в порядке возрастания номера кода. Назовем этот блок синтезатором словоформ и парадигмы слова (СС и П), так как его можно использовать для порождения как парадигмы, так и отдельных словоформ из нее.

Для этой цели на второй вход данного блока подается информация о коде словоформы. Таким образом, выходной сигнал блока СС и П будет зависеть от входного сигнала S — при $S = S_j$ на выходе получим x_{ij} , а при $S = 0$ на выходе будем иметь всю парадигму слова x_i . Элементы $x_{i0} \in A$, а соответственно и множество парадигмы, можно расклассифицировать по 124 типам спряжений, каждый из которых характеризуется своим набором окончаний. В соответствии с этим уменьшается и количество блоков СС и П до 124 (по количеству наборов окончаний).

В работе эти блоки собраны в один общий блок, который представлен в виде таблицы $T_c S_j$.

Наибольший интерес вызывает возможность порождения личных форм продуктивных глаголов, поэтому их блоки синтеза собраны в подблоке I таблицы и приведены полностью. Подблок II объединяет блоки синтеза 275 непродуктивных основ глаголов; ради экономии места он приведен частично. Блок-схему модели синтеза личных форм невозвратных глаголов можно представить в следующем виде (рис. 2). Эта модель универсальна и позволяет получить любое, без исключения, слово x_i или его отдельные словоформы x_{ij} по их представителям x_{i0} из открытого множества $B (x_{i0} \in B, A \subset B)$.

Модель реализует функцию F :

$$F(y, S) = \begin{cases} x_{ij}, & \text{если } S = S_j \\ x_i, & \text{если } S = 0, \end{cases}$$

где

$$y = y_{iT_c}(x_{i0}).$$

Алгоритм синтеза представляет собой набор формальных процедур, которые использовались при построении алгоритма классификации глаголов по типам спряжения, дополненный формаль-

Таблица $T_c S_j$

S_j / T_c	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	Номер под-блока
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	овать	ю	есть	ет	ем	ете	ют	овал	ла	ло	ли	й	йте		
2	евать	ую	уешь	ует	уем	уете	уют	евал	овала	овало	овали	уй	уйте		
3	евать	ую	уешь	ует	уем	уете	уют	евал	евала	евало	евали	уй	уйте		
4	ять	ю	есть	ет	ем	ете	ют	ял	яла	яло	яли	й	йте		
5	уть	у	ешь	ет	ем	ете	ут	уа	ула	уло	ули	и	ите		
6	уть	у	ешь	ет	ем	ете	ут	уа	ула	уло	ули	и	ите		
7	ить	ю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
8	ить	ю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
9	ить	ю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
10	ить	лю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
11	ить	лю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
12	ить	лю	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
13	дить	жу	димь	дит	дим	дите	дят	дил	дила	дило	дили	ди	дите		
14	дить	жу	димь	дит	дим	дите	дят	дил	дила	дило	дили	ди	дите		
15	зить	жу	зимь	зит	зим	зите	зят	зил	зила	зило	зили	зи	зите		
16	зить	жу	зимь	зит	зим	зите	зят	зил	зила	зило	зили	зи	зите		
17	стить	щу	стимь	стит	стим	стите	стят	стил	стила	стило	стили	сти	стите		
18	ить	у	ишь	ит	им	ите	ят	ил	ила	ило	или	и	ите		
19	ить	чу	тишь	тит	тим	тите	тят	тил	тила	тило	тили	ти	тите		
20	ить	чу	тишь	тит	тим	тите	тят	тил	тила	тило	тили	ти	тите		
21	ить	шу	силь	сит	сим	сите	сят	сил	сила	сило	сили	си	сите		
22	ить	шу	силь	сит	сим	сите	сят	сил	сила	сило	сили	си	сите		
23	ить	у	ишь	ит	им	ите	ат	ил	ила	ило	или	и	ите		
24	ить	у	ишь	ит	им	ите	ат	ил	ила	ило	или	и	ите		
25	ать	у	есть	ет	ем	ете	ут	ал	ала	ало	али	и	ите		
81	олошь	елю	елешь	елет	елем	елете	елют	олол	олола	ололо	ололи	ели	елите		II
82	оть	ю	есть	ет	ем	ете	ют	ол	ола	оло	оли	и	ите		
124	яшь	ем-лю	емлешь	ем-ют	ем-лом	емлете	ем-лют	ял	яла	яло	яли	емли	емлите		

ными процедурами блока СС и П. В этот набор входят следующие процедуры: проверить окончание словоформ x_{i0} на совмещение с эталонным окончанием; проверить букву или буквосочетание перед окончанием на совпадение с эталонными; проверить местоположение ударения в словоформе; сравнить x_{i0} , если это необходимо, с эталонным словарем; в соответствии с T_c отбросить окончание и сформировать y_{iTC} ; в соответствии с y_{iTC} ; и S добавить требуемое окончание (окончания) и подать вновь полученную словоформу (словоформы) на выход. Работу алгоритма проиллюстрируем на примере восстановления словоформ глаголов, оканчивающихся в инфинитиве на — *ОТЬ*.

1. Сравнить окончание словоформы, поступающей на вход, эталонным окончанием — *ОТЬ*; если ответ «да», то перейти к 3, если «нет» — к 2.
2. Сравнить окончания словоформ с другими эталонными окончаниями инфинитива (*-АТЬ, -ЯТЬ, -ЕГЬ, -УТЬ, -ЫТЬ, -ЗТЬ, -ИТЬ, -ЧЬ, -ТИ*).
3. Сравнить буквосочетание, стоящее перед окончанием на совпадение с *-ОЛ*, или *ОР*—; если «да», то перейти к 4, если «нет» — к 11.
4. Ударение падает на окончание словоформы (*ОТЬ*); если «да», то перейти к 5, если «нет» — к 11.
5. Сравнить словоформу со словарем-эталонном — «*МО-ОТЬ*», если «да», то перейти к 6, если «нет» — к 9.
6. Присвоить $T_c=81$ и отбросить от словоформы — *ОЛОТЬ*.
7. Остаток словоформы подать на вход блока 81 таблицы S_i (подблока II).
8. В соответствии с заданным S и полученным y_{iTC} добавить требуемое окончание (окончания) и вывести на печать новую словоформу (словоформы).
9. Присвоить $T_c=82$ и отбросить от словоформы — *ОТЬ*.
10. Остаток словоформы подать на вход блока 82 таблицы S_i (подблок II) и перейти к 8.
11. Вывести на печать заданную словоформу с пометкой «Не глагол».

Предложенный метод построения модели синтеза отдельных словоформ по их меткам может быть использован при составлении других подобных моделей, а алгоритм синтеза слов и отдельных словоформ личных невозвратных глаголов — при построении системы автоматической обработки глаголов русского языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Соловьева Е. А. Автоматический морфологический анализ суженой парадигмы глагола. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 12, Харьков, 1974, с. 139—142.
- Бондаренко М. Ф., Бузницкая Э. М. Алгоритм морфологического анализа имен прилагательных русского языка. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 12. Харьков, 1974, с. 149—156.

3. Чугун А. И. Об одном методе классификации глагольных форм русского языка по типам спряжения (см. статью в настоящем сборнике).
4. Орфографический словарь русского языка. Изд. 12-е, М., «Сов. энциклопедия», 1973. 520 с.

Поступила 25 апреля 1976

УДК 62.506.2

С. И. ШАПИРО, канд. психол. наук,
С. В. ЦЕХОЙ, А. В. КОРНЕВ

К ПРОБЛЕМЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ЧИСЛОВЫХ МАССИВОВ ЧЕЛОВЕКОМ И ЭВМ СООБЩЕНИЕ I

Постановка задачи. Элементы числового массива $X_1, X_2, \dots$ требуется расположить в порядке неубывания. Критерием эффективности является минимизация времени решения. Задача актуальна для ЭВМ и в практической деятельности человека.

Проблема исследования. Выявление и анализ «человеческих» программ решения задачи упорядочения массива и составление соответствующих машинных программ; построение теоретико-информационной модели процесса решения и изучение ее согласия с работой ЭВМ и человека.

Исследование выполнено на вычислительном центре Курского педагогического института на ЭВМ «Мир-1». Испытуемыми были студенты 3-го курса физико-математического факультета и школьники.

1. Стратегии решения

Первая стратегия. Элемент X_1 сравнивается с каждым из остальных. Если $X_1 \leq X_i$ ($i=2, 3, \dots, n$), то в дальнейшем сравнении участвует X_1 , иначе — X_i . Полученный таким образом наименьший элемент массива ставится на первое место, его место занимает первым элементом. Затем процедура повторяется для второго элемента образовавшегося массива, причем первый элемент из нее исключается и т. д. Этот способ упорядочения (с вариациями) наиболее приемлем для человека. Будем условно называть его естественным. Описанная процедура применяется n

1) раз, общее число парных сравнений $\frac{n(n-1)}{2}$.

Операция сравнения, выполняющая ориентировочную функцию, имеет место как в машинном, так и человеческом решении. Далее, однако, начинается различие. Для каждого элемента, изменяющего свое место в массиве, требуется выполнение трех действий непосредственного упорядочения: «временное запоминание» X ; помещение на место X другого элемента; помещение на освободившееся место (программа 1). Для ЭВМ — это

ПРОГРАММА 1

УПОРЯДОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕРВОЙ СТРАТЕГИИ

```

""4.1."ДЛ"И=1"Ш"1"ДО"Н=1"ВЫП"(К=0; А=X[1]; "ДЛ"J=
=I+1"Ш"1"ДО"Н"ВЫП("Е"А < X[J]"ТО"("НА"2); А = X[J];
<=J; 2.);"Е"К=0"ТО"("НА"3);X[K]=X[1];X[1]=A;3.)"ДЛ"И=
=1"Ш"1"ДО"Н"ВЫП""ВЫВ""ЗНА"X[I],[.] "ГДЕ"Н = 50;
X[50] = 22,32,48,35,46,8,41.14.30,12,25,36,1,50,45,15,29,33,10,28,23,
39, 17, 42, 44, 24, 31,40,5,34,47,38,18,3,6,16,20,27,7,9,2,13,19,21,26,43,
49,37,4,11"КО"

```

РЕШЕНИЕ

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,
27, 28, 29, 30, 31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,
49,50,

ВРЕМЯ РЕШЕНИЯ 70 СЕК

ПРОГРАММА 2

ВТОРАЯ СТРАТЕГИЯ, ПЕРВЫЙ ПОДХОД

```

""5.1."ДЛ"И=1"Ш"1"ДО"Н—1"ВЫП"("ДЛ"J = I"Ш" — 1"ДО"
1"ВЫП""Е"X[I + 1] > X[J]"ТО"(A = X[I + 1]; "ДЛ"К = 1
"Ш"—1"ДО"J+1"ВЫП"X[K+1] = X[K]; X[J+1] = A;"НА"2);
2.);"ДЛ"И=1"Ш"1"ДО"Н"ВЫП""ВЫВ""ЗН"X[I],[.] "ГДЕ"Н =
ВРЕМЯ РЕШЕНИЯ 90 СЕК

```

ПРОГРАММА 3

ВТОРАЯ СТРАТЕГИЯ, ВТОРОЙ ПОДХОД

```

""5.1."ДЛ"И=1"Ш"1"ДО"Н—1"ВЫП" (A=0; D=0; B=I; 3.D1=
=D; D=ε((A+B+1)/2); "Е"D=D1"ТО"("НА"2); "Е"X[I+1]=
=X[D]"ТО"(C=1;"НА"2);"Е"X[I+1]>X[D]"ТО"(A=D; C = 1;
"НА"3); B=D; C=2; "НА"3; 2.F=X[I+1]; "Е"C=2"ТО"(E=D;
"НА"4); E=D+1; 4."ДЛ"J = I"Ш"—1"ДО"Е"ВЫП"X[J + 1] =
=X[J]; X[E] = F); "ДЛ"И = 1"Ш"1"ДО"Н"ВЫП""ВЫВ""ЗН"
X[I],[.] "ГДЕ"Н=

```

ВРЕМЯ РЕШЕНИЯ 74 СЕК

ПРОГРАММА 4

МАССИВ ДЛИНЫ N РАЗБИВАЕТСЯ НА ПОЛНЫЕ ПО МАССИВЫ ПО P ЭЛЕМЕНТОВ И, ВОЗМОЖНО, ОДИ НЕПОЛНЫЙ (ЕСЛИ N НЕ КРАТНО P). ПОДМАССИВ УПОРЯДОЧИВАЮТСЯ НЕЗАВИСИМО НА ОСНОВЕ ПЕРВОЙ СТРАТЕГИИ — ПРОГРАММЫ 1. УПОРЯДОЧЕННЫЕ ПОДМАССИВЫ (ПРИ $\Gamma=2$) СТЫКУЮТСЯ С УПОРЯДОЧЕНИЕМ ВСЕГО МАССИВА N.

5.1. $S=1$; "ДЛ" $\Theta=1$ "Ш" 1 "ДО" N/P "ВЫП" ($\text{Ю} = P \times \Theta$; $\text{Я} = \text{Ю} - 1$; L2. "ДЛ" $I=1+P \times (\Theta-1)$ "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ($K=0$; $A=[I]$; "ДЛ" $J=I+1$ "Ш" 1 "ДО" Ю "ВЫП" ("Е" $A < X[I]$ "ТО" ("НА" 2); $A=X[J]$; $K=J$; 2.); "Е" $K=0$ "ТО" ("НА" 3); $X[K]=X[I]$; $X[I]=A$; 3.); "Е" $F(N/P) \times S=0$ "ТО" ("НА" L1); $S=0$; $\text{Ю} = N$; $\text{Я} = N-1$; "НА" L2; L1. "Е" $\Gamma=1$ "ТО" ("НА" L4); $S=1$; "ДЛ" $\Theta=1$ "Ш" 1 "ДО" N/P -1 "ВЫП" ($\text{Я} = P \times (\Theta+1)$; L3. $I=0$; $J=P \times \Theta$; "ДЛ" $K=1$ "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ("Е" $I = P \times \Theta$ "ТО" ($J=J+1$; $Z[K]=X[J]$; "НА" L); "Е" $J=Я$ "ТО" ($I=I+1$; $Z[K]=X[I]$; "НА" L); "Е" $X[I+1] < X[J+1]$ "ТО" ($I=I+1$; $Z[K]=X[I]$) "И" ($J=J+1$; $Z[K]=X[J]$; L.); "ДЛ" T = 1 "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ($T=Z[T]$); "Е" $F(N/P \times S=0)$ "ТО" ("НА" L4); $S=0$; $\text{Я} = N$; "НА" L3; L4. "ДЛ" $I=1$ "Ш" 1 "ДО" N "ВЫП" "ВЫВ" "ЗНА" X[I]; "ГДЕ" N=50; $\Gamma=2$; P=10; X[50]=22, 32, 48, 35, 46, 8, 41, 14, 12, 25, 36, 1, 50, 45, 15, 29, 33, 10, 28, 23, 39, 17, 42, 44, 24, 31, 5, 34, 47, 38, 18, 3, 6, 16, 20, 27, 7, 9, 2, 13, 19, 21, 26, 43, 49, 37, 11; Z[50] "КО"

РЕШЕНИЕ

1 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50,

ПРОГРАММА 5

В ОТЛИЧИЕ ОТ ПРОГРАММЫ 4 ПЕРВИЧНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ (ПОДМАССИВОВ) ПРОИЗВОДИТСЯ НА ОСНОВЕ ВТОРОЙ СТРАТЕГИИ.

5.1. $S=1$; "ДЛ" $\Theta=1$ "Ш" 1 "ДО" N/P "ВЫП" ($\text{Ю} = P \times \Theta$; $\text{Я} = \text{Ю} - 1$; L2. "ДЛ" $I=1+P \times (\Theta-1)$ "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ($A=(\Theta-1) \times P$; $D=0$; $B=1$; 3. $D1=D$; $D=\varepsilon((A+B+1)/2)$; "Е" $D=D1$ "ТО" ("НА" 2); "Е" $X[I+1]=X[D]$ "ТО" ($C=1$; "НА" 2); "Е" $X[I+1] > X[D]$ "ТО" ($A=D$; $C=1$; "НА" 3); $B=D$; $C=2$; "НА" 3; 2. $F(I)=X[I+1]$; "Е" $C=2$ "ТО" ($E=D$; "НА" 4); $E=D+1$; 4. "ДЛ" $J=I$ "Ш" -1 "ДО" Е "ВЫП" $X[J+1]=X[J]$; $X[E]=F(I)$); "Е" $F(N/P) \times S=0$ "ТО" ("НА" L1); $S=0$; $\text{Ю} = N$; $\text{Я} = N-1$; "НА" L2; L1. "Е" $\Gamma=1$ "ТО" ("НА" L4); $S=1$; "ДЛ" $\Theta=1$ "Ш" 1 "ДО" N/P -1 "ВЫП" ($\text{Я} = P \times (\Theta+1)$; L3. $I=0$; $J=P \times \Theta$; "ДЛ" $K=1$ "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ("Е" $I = P \times \Theta$ "ТО" ($J=J+1$; $Z[K]=X[J]$; "НА" L); "Е" $J=Я$ "ТО" ($I=I+1$; $Z[K]=X[I]$; "НА" L); "Е" $X[I+1] < X[J+1]$ "ТО" ($I=I+1$; $Z[K]=X[I]$) "И" ($J=J+1$; $Z[K]=X[J]$; L.); "ДЛ" T = 1 "Ш" 1 "ДО" Я "ВЫП" ($X[T]=Z[T]$); "Е" $F(N/P \times S=0)$ "ТО" ("НА" L4); $S=0$; $\text{Я} = N$; "НА" L3; L4. "ДЛ" $I=1$ "Ш" 1 "ДО" N "ВЫП" "ВЫВ" "ЗНА" X[I], [J] "ГДЕ" N=

операции присвоения, для человека, оказывается — единое укрупненное действие, одна транспозиция (уже здесь ясно, что сравнение работы человека и ЭВМ только по числу выполненных операций связано со значительными трудностями).

Максимальное число действий непосредственного упорядочения для ЭВМ — 3 ($n - 1$), минимальное — 0 (если исходный массив упорядочен). Среднее количество, с учетом случайного порядка элементов в исходном массиве, — $\frac{3(n-1)}{2}$.

Общее среднее число действий, включая и сравнение:

$$S_n \leq \frac{(n+6)(n-1)}{2}; \quad S_n \approx \frac{(n+3)(n-1)}{2}.$$

Можно показать, что в случае больших значений n для массивов со случайным расположением элементов более адекватной является формула

$$S_n \approx \frac{(n+5)n}{2} - 3 \sum_{k=1}^n \frac{1}{K}. \quad (1)$$

Вторая стратегия. X_1 остается на месте — это первый частичный массив. Затем упорядочивается второй частичный массив $\{X_1, X_2\}$, третий $\{X_1, X_2, X_3\}$ и т. д., так что при выполнении $(K+1)$ -го частичного упорядочения K -е упорядочение уже выполнено: $(K+1)$ -е упорядочение заключается в нахождении места для X_{k+1} в K -м упорядочении и помещении на это место X_{k+1} . Будем говорить о стратегии последовательных («вложенных») упорядочений. Для количественного описания необходимо, как и ранее, прежде всего оценить число операций парного сравнения для нахождения места X_{k+1} в K -м упорядочении. В решении этой задачи человеком мы обнаружили, по крайней мере, два подхода.

3-й 1-й подход. X_{k+1} поочередно сравнивается с каждым элементом K -го упорядочения, начиная с правого (левого) конца. При $K=1$ потребуется одно сравнение. При $K=2$, — минимум одно, максимум два и т. д. Если $K=n-1$, то минимальное число сравнений одно, максимальное — $(n-1)$ (программа 2).

2-й подход (дихотомический). Исходный массив разбивается на два примерно равных по длине подмассива, и X_{k+1} сравнивается с $X_{\frac{(k+1)}{2}}$ назовем этот элемент средним — C (ε — целая часть числа). Если $X_{k+1} \leq C$, то место X_{k+1} в левом подмассиве, противном случае — в правом. Каждый раз отсекается примерно половина элементов K -го упорядочения, и это ускоряет поиск, особенно при больших значениях K (программа 3).

Далее, независимо от подхода, после определения ЭВМ массива X_{k+1} в K -м упорядочении необходим сдвиг соответствующего элемента массива K -го упорядочения на один элемент вправо, чтобы «свободить место» для помещения X_{k+1} .

С учетом процедуры сдвига и некоторых особенностей работы ЭВМ «Мир-1» получены следующие формулы.

1-й подход к решению (программа 2):

$$S_n \approx \frac{(n+3)(n-1)}{2}; S_n \leq (n+2)(n-1).$$

2-й подход (программа 3):

$$S_n \approx 2\varepsilon((n-1) + \log_2(n-1)!) + \frac{(n-1)(n-4)}{4};$$

$$S_n \leq 4\varepsilon((n-1) + \log_2(n-1)!) + \frac{(n-1)(n-2)}{2}.$$

(Вычисление $\log_2(n-1)!$ производится по формуле Стирлинга [1, с. 161]).

Для массива 50 элементов, содержащегося в описательной части программы 1, апробированного для всех трех программ, получены следующие результаты (табл. 1).

Т а б л и ц а

Стратегия	Расчетные формулы	Предсказанное формулами среднее число операции	Истинное число выполненных операций
Первая	1	1400	1366
Вторая, первый подход	2	1300	1545
Вторая дихотомия	3	1100	1200

Минимальное количество фактически выполненных операций приходится на дихотомический подход в стратегии 2 — при больших упорядочениях. «Проигрывание» различных вариантов на ЭВМ «Мир-1» показывает, что с возрастанием длины массива преимущества дихотомии возрастают. С увеличением n «Предсказания» формул приближаются к истинным значениям. С другой стороны, наименьшее время решения задачи приходится на первую стратегию (см. программы), и, согласно принятой теории, она является оптимальной.

Дж. фон Нейман предложил метод упорядочения массива разбиением на 2 части — начало и хвост, — число элементов которых по возможности одинаково. Далее начало и хвост упорядочиваются независимо и затем «стыкуются» при окончательном упорядочении всего массива [2].

Мы разработали программы для ЭВМ «Мир-1», позволяющие разбивать исходный массив длины n на полные подмассивы по p элементов в каждом и, возможно, если n не кратно p , — один неполный подмассив. В каждом подмассиве независимо производится упорядочение в соответствии со стратегией 1 или 2, упорядоченные подмассивы «стыкуются с доводкой», и образуется единый упорядоченный массив. Первый этап мы назвали частичным упорядочением массива (ЧУ), второй — стыковкой (СТ). Мы полагали — и это впоследствии подтвердилось, — что при таком способе переработки информации время решения задачи существенно зависит от p и неймановский вариант $p = 2$, возможно, не является оптимальным.

Следующая таблица отражает время, затраченное ЭВМ на упорядочение массива 250 элементов, в зависимости от p (табл. 2).

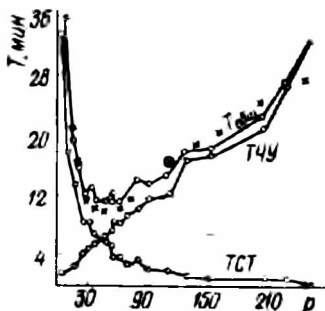
Таблица 2

P	Время, мин			Время, мин		
	упорядочения, у	стыковки, СТ	общее, 0	у	СТ	0
5	1,5	33,5	35,0	2,2	34,4	36,6
10	1,5	17,5	19,0	3,2	17,3	20,5
15	2,5	13,2	15,7	3,6	13,3	16,9
25	4,0	8,0	12,0	5,0	7,5	12,5
30	4,5	8,0	12,5	—	—	—
35	5,0	6,5	11,5	6,5	7,4	13,9
40	5,5	6,0	11,5	7,5	5,5	13,0
45	6,0	5,5	11,5	7,5	5,0	12,5
50	7,0	5,0	12,0	7,7	3,8	11,5
55	8,0	3,5	11,5	8,5	4,5	13,0
60	8,0	3,5	11,5	9,0	5,5	14,5
70	9,0	3,0	12,0	9,5	3,5	13,0
80	10,3	3,7	14,0	10,6	4,2	15,0
90	11,3	2,2	13,5	10,5	2,8	13,3
110	12,0	2,0	14,0	13,0	3,0	16,0
125	16,5	1,7	18,2	16,5	1,8	13,3
150	17,0	1,3	18,3	17,0	1,3	18,3
200	21,0	1,5	22,5	20,3	1,5	21,8
225	26,4	1,3	27,7	24,3	1,5	25,8
250	32,2	0	32,2	30,3	0	30,3

Прежде всего, необходимо отметить хорошее согласие результатов, полученных в программах 4 и 5. В обоих случаях общее время минимально примерно в интервале $p:40-50$ с переходом слева направо от убывания к возрастанию (рисунок). Далее каждый из способов упорядочения массива эффективней естественного (производимого по той же программе), который оказывается частным случаем — при $p=250$. По сравнению с ним здесь получается выигрыш во времени почти в три раза. Таким образом, оптимальным для ЭВМ является метод частичных упорядочений с разбиением массива на 5—6 по возможности равных

частей. Такая же закономерность проявляется при исходе массива другой длины. Например, если $n=50$, то минимальное время приходится на $p \approx 10$ и т. д. Чем длиннее массив, тем острее выигрыш. Дихотомия, таким образом, не является лучшим вариантом.

Что касается различий программ, то оказывается, для $p \leq 12$



Динамика процесса упорядочения массива из 250 элементов. Крестиками помечены точки графика $T_{\text{общ}} = 28,879 \lg^2 p - 92,525 \lg p - 84,838$, полученные по методу наименьших квадратов.

программа 4 в основном эффективнее программы 5, при $p > 12$ наоборот. С другой стороны, эксперимент показывает, что естественное упорядочение подмассивов, отличающее программу психологически ближе человеку. Поэтому для сравнения работы ЭВМ и человека в «сопоставимых условиях» мы остановились на программе 4. К ней относятся все последующие результаты.

Выше отмечено, что число выполненных операций не может служить критерием для сравнения времени работы ЭВМ и человека. Нахождению таких критериев посвящена теоретическая модель процесса переработки информации по схеме: разбиение

подмассивы, независимое упорядочение подмассивов (ЧУ), доковка с доводкой (СТ).

2. Теоретико-информационная модель

а) Информация упорядочения подмассива длины p .

Первая стратегия. При упорядочении раскрывается неопределенность в $(p-1) + (p-2) + \dots + 1 = \frac{p(p-1)}{2}$ (бит).

Фактически переработанная информация в большой мере избыточна — объективно ситуация содержит $\log_2(p!)$ двоичных единиц неопределенности — выбор одной перестановки из $p!$ возможных. С возрастанием p избыточность увеличивается. Сказанное следует из соотношений

$$\log_2(p!) < \frac{p(p-1)}{2}; \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{\log_2(p!)}{\frac{p(p-1)}{2}} = 0.$$

Вторая стратегия. Первый элемент остается на месте. Второму должен либо следовать за ним, либо предшествовать ему. Определение его места требует переработки $\log_2 2 = 1$ (бит) информации. Аналогично место третьего элемента находится ценой

бит) и т. д. Общее количество неопределенности, раскрываемой при упорядочении подмассива, равно $\log_2 1 + \log_2 2 + \dots + \log_2 p = -\log_2(p!)$ (бит). Избыточность таким образом, сведена к нулю.

В этом свете несколько неожиданны отмеченные выше преимущества во времени работы ЭВМ по программе 4 перед программой 5. Для объяснения феномена разделим условно действия по решению задачи на ориентировочные — сравнение элементов для определения их места в последовательности и исполнительные — непосредственное упорядочение, размещение элементов по найденным «адресам». Ясно, что переработка информации в венноновском смысле) связана только с ориентировкой. С другой стороны, определенные затраты времени ЭВМ приходится на исполнительную часть, структура которой в первой стратегии проще: каждая транспозиция состоит из трех операций привоения, тогда как во второй стратегии «водворение на место» элемента сопряжено со сдвигом подмассива, переадресацией ряда членов последовательности. Эти утверждения нетрудно обосновать математически.

В предварительном порядке отметим, что причины преимущественного обращения человека к первой стратегии кроются в другом. Человек, оказывается, «схватывает» небольшие отрезки массива с одного взгляда, выходит на наименьший элемент, в основном, сразу без парных сравнений. Он как бы очеловечивает первую стратегию и просто не нуждается в последовательном упорядочении, навязываемом второй стратегией. Кроме того, в оперативной памяти фиксируются отдельные фрагменты массива и, выполняя данное упорядочение, человек планирует, подсознательно готовит следующие элементы, прикидывая, в каком отрезке их искать. Такая организация процесса невозможна при второй стратегии, основанной на «линейном, последовательном» мышлении. К этому вопросу мы еще вернемся. Теперь продолжим расчет.

Всего длины p полных подмассивов будет $\varepsilon \left(\frac{n}{p} \right)$. Кроме того, возможен один неполный подмассив с числом элементов $F \left(\frac{n}{p} \right) \times p$ (F — дробная часть). Общее количество информации, перерабатываемой при независимом упорядочении всех подмассивов (НЧУ), — информации частичного упорядочения $\text{НЧУ} = \log_2(p!) \times \varepsilon \left(\frac{n}{p} \right) + \log_2 \left(F \left(\frac{n}{p} \right) \times p \right)$ (бит). Если

p , то формула имеет вид $\text{НЧУ} = \log_2(p!) \times \frac{n}{p}$. Таким образом,

$$HЧУ = \begin{cases} \log_2(p!) \times \frac{n}{p}, & \text{если } n \div p, \\ \log_2(p!) \times \varepsilon\left(\frac{n}{p}\right) + \log_2\left(F\left(\frac{n}{p}\right) \times p\right) & \end{cases}$$

— в противном случае¹.

Подобно тому, как для программирования на ЭВМ выбран вариант, минимизирующий время, остановимся при построении теоретико-информационной модели НЧУ на стратегии 2, позволяющей получить результат ценой переработки наименьшего количества информации.

б) Стыковка независимо упорядоченных подмассивов.

Пусть требуется «сстыковать» с окончательным упорядочиванием (доводкой) два независимо упорядоченных подмассива:

$$a_1, a_2, \dots, a_k,$$

$$b_1, b_2, \dots, b_m,$$

т. е. необходимо образовать из них единый неубывающий массив. Будем упорядочивать подмассив (6) в (5), понимая под этим помещением каждого элемента подмассива (6) в соответствующую «щель» (5). Легко показать, что количество раскрываемой неопределенности при нахождении места b_1 в (5): $H_1 = \log(K + 1)$ — математическое ожидание места, которое займет b_1 , $MO_1 = \frac{K}{2} + 1$.

Таким образом, в среднем b_1 в (5) окажется перед $\left(\frac{K}{2} + 1\right)$ -м элементом. Теперь необходимо найти место b_2 в (5). Ясно, что b_2 окажется правее b_1 (в (6) элементы не убывают); b_2 , таким образом, помещается в усеченном подмассиве — между $\left(\frac{K}{2} + 1\right)$ -м членом (в среднем) и a_k . Как и ранее, приходим к выводу: количество информации, перерабатываемой при определении места b_2 : $H_2 = \log\left(\frac{K}{2} + 2\right)$ — оно получается заменой в H_1 K на $\left(\frac{K}{2} + 1\right)$.

Аналогично получаем

$$MO_2 = \frac{\frac{K}{2} + 1}{2} + 1 = \frac{K}{2^2} + \frac{1}{2} + 1.$$

Замечание. В действительности для нахождения MO_2 необходимо к полученному прибавить $MO_1 - 1$, т. е. «сдвинуть место» симметрично относительно MO_1 в правую половину подмассива (5). Но поскольку нас интересует только количество дихотомий, необходимое для помещения какого-либо элемента (6), то для простоты будем каждый раз делить пополам левую по-

¹ Расчетная формула: $\log_2(n!) \sim \frac{10000}{6931} \left((n + \frac{1}{2}) \ln n - n + 0,9187 \right)$.

нию (5) — тогда вместо a_n будем иметь дело с a_1 . Естественно, количество информации, зависящее только от числа альтернатив (числа дихотомий), от этого не изменится.

Продолжим рассуждение: $H_3 = \log(MO_2 + 1) = \log\left(\frac{K}{2^2} + 1 + \frac{1}{2} + 2\right)$; $MO_3 = \frac{MO_2}{2} + 1 = \frac{K}{2^3} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2} + 1$ и т. д.

Получаем рекурсивные формулы: $H_{r+1} = \log(MO_r + 1)$;

$$MO_{r+1} = \frac{MO_r}{2} + 1. \quad (7)$$

Из них методом математической индукции извлекаются формулы

$$H_r = \log\left(3 + \frac{K-2}{2^{r-1}}\right); MO_r = 2 + \frac{K-2}{2^r}, \quad (8)$$

где H_r — среднее количество неопределенности, раскрываемой при помещении b_r подмассива (6) в подмассив (5); MO_r — математическое ожидание номера элемента в подмассиве (5), перед которым окажется b_r (с учетом сделанного выше замечания).

Может оказаться одно из двух: либо в процессе дихотомии подмассив (6) будет исчерпан, и тогда количество дихотомий для полного упорядочения равно числу его элементов m ; либо при некотором r значение MO_r повторится — b_r окажется перед a_k , дальнейшая дихотомия невозможна. В этом случае «помещение» каждого следующего элемента из (6) требует переработки одного бита информации: элемент помещается либо перед a_k , либо после него.

Для дальнейшего важно определить, при каком значении r в последнем случае произойдет повторение. Обратимся к формулам (8). MO_r , мы видим, с возрастанием r убывает. С другой стороны, MO_r цело и, значит, повторяется, если оно, независимо от r , равно двум, т. е. рассматривается «щель» перед a_2 , а фактически (см. замечание) перед a_k . Это произойдет при $\frac{K-2}{2^r} < 1$. Тогда

неравенство $\frac{K-2}{2^r} \geq 1$ дает оценку максимальному значению r (обозначим R), при котором H_r еще определяется по формуле (8).

$$\frac{K-2}{2^r} \geq 1; r \leq \log_2(K-2); R = \epsilon(\log_2(K-2)) + 1. \quad (9)$$

Поясним на примере.

$$a_1 \overset{4}{a_2} \overset{3}{a_3} \overset{2}{a_4} a_5 a_6 a_7 a_8 \overset{1}{a_9} a_{10} a_{11} a_{12} \overset{2}{a_{13}} a_{14} \overset{3}{a_{15}} \overset{4}{a_{16}}.$$

На основе формул (8)

$r=1$; $MO_1=9$; место перед $a_9 - \bar{I}$;

$r=2$; $MO_2=5,5$. Взяв целую часть, получаем место перед a_5 .

В действительности же отсчитывает от I вправо и оказывается перед $a_{13} - \bar{I}$;

$r=3$; $\varepsilon(MO_3)=3$, $r=4$; $\varepsilon(MO_4)=2$, $r=5$; $\varepsilon(MO_5)=2$ — повторение. Мы оказались перед $a_k = a_{16}$, и дальнейшая дихотомия неслучайно возможна.

Итак, R , т. е. наибольшее значение r , при котором H_r еще почитывается по формуле (8), равно 4. Этот результат получается сразу из (9):

$$R = \varepsilon(\log_2(16-2)) + 1 = 4.$$

Если учесть и предусмотренную ранее возможность $R=m$, приходим к формуле

$$R = \text{Min}(m, \varepsilon(\log_2(k-2) + 1)).$$

Итак, количество информации, переработанной при упорядочении

R первых элементов (6) в (5), равно $\sum_{r=1}^R \log_2 \left(3 + \frac{K-2}{2^{r-1}} \right)$

(бит). Если R -й элемент оказался последним в (5), то объем упорядоченный массив фактически упорядочен, информация исчерпана. Если R -й элемент — предпоследний, то установка $(R+1)$ -го элемента из (6) требует переработки еще одного бита информации. Так как вероятности этих двух альтернатив равны, то среднее количество информации, перерабатываемой при установке $(R+1)$ -го элемента подмассива 2), равно:

$\frac{1}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{1}{2}$. Повторим рассуждение для всех остальных $(m-R)$ элементов из (2).

Замечаем, что среднее количество информации их упорядочения в (1) равно $\frac{1}{2} (m-R)$. Обозначив НСТ (K, m) среднее количество информации, перерабатываемой при «стыковке» частично упорядоченного подмассива длины m «в» частично упорядоченном подмассиве длины K , приходим к окончательным расчетным формулам:

$$\text{НСТ}(K, m) = \sum_{r=1}^R \log_2 \left(3 + \frac{K-2}{2^{r-1}} \right) + \frac{1}{2} (m-R),$$

где $R = \text{Min}(m, \varepsilon(\log_2(K-2) + 1))$.

После стыковки получается упорядоченный подмассив длины $(K+m)$, он стыкуется со следующим независимо упорядоченным подмассивом, количество информации снова подсчитывается по формулам (11) и т. д.

Поясним вычислительную процедуру на примерах.

Пример 1. $n=50$; $K=10$; $m_1=m_2=m_3=m_4=10$. Упорядочивается массив 50 чисел. Количество элементов в полном подмассиве $p=10$. Неполных подмассивов нет ($50 : 10$). Порядок вычисления. Упорядочиваем независимо каждый из пяти подмассивов длины 10. Затем упорядочиваем подмассив длины m_1 в подмассив длины K ; подмассив m_2 — в подмассив длины $(K+m_1)$; длины m_3 — в $(K+m_1+m_2)$; длины m_4 — в $(K+m_1+m_2+m_3)$.

1) Независимое частичное упорядочение (4). $n=p$, следовательно, $\text{НЧУ} = \log_2(10!) \cdot 5 \approx 109,23$ (бит).

2) а) $\text{НСТ}(K, m_1)$ — информация стыковки с упорядочением m_1 в K . $K=10$; $m=m_1=10$. Определяем R ; $m=10$; $\varepsilon(\log_2(10-2)+1)=4$; $R=\text{Min}(10,4)=4$;

$$\text{НСТ}(K, m_1) = \text{НСТ}(10, 10) + \sum_{r=1}^4 \log_2 \left(3 + \frac{8}{2^{r-1}} \right) + \frac{1}{2} (10 - 4) \approx 10,63 \text{ (бит)};$$

б) $\text{НСТ}(K+m_1, m_2) = \text{НСТ}(20, 10)$. Новые значения: $K=20$, $n=10$, $R=5$; $\text{НСТ}(20, 10) \approx 18,24$;

в) $\text{НСТ}(K+m_1+m_2, m_3) = \text{НСТ}(30, 10)$. Новые значения: $K=30$; $m=10$. $R=5$, $\text{НСТ}(30, 10) \approx 19,88$ (бит),

г) $\text{НСТ}(K+m_1+m_2+m_3, m_4) = \text{НСТ}(40, 10)$. $K=40$; $m=10$; $R=6$; $\text{НСТ}(40, 10) \approx 23,01$ (бит).

Все пять независимых упорядоченных подмассива состыкованы. $\text{НСТ} \approx 10,63 + 18,24 + 19,88 + 23,01 = 71,76$ (бит), $H = \text{НЧУ} + \text{НСТ} \approx 109,23 + 71,76 \approx 181$ (бит).

Пример 2 (с неполным подмассивом).

$n=50$; $p=20$; $K=20$; $m_1=20$; $m_2=10$ ($50=20+20+10$).

1) $\text{НЧУ} = \log_2(20!)2 + \log_2(10!) \approx 144,3$ (бит).

2) а) $\text{НСТ}(K, m_1) = \text{НСТ}(20, 20)$; $K=20$, $m=m_1=20$; $R=5$; $\text{НСТ}(20, 20) \approx 23,24$ (бит);

б) $\text{НСТ}(K+m_1, m_2) = \text{НСТ}(40, 10)$. Новые значения: $K=40$, $m=m_2=10$ $R=6$; $\text{НСТ}(40, 10) \approx 23,01$ (бит), $\text{НСТ} \approx 46,25$ (бит); $H=190,6$ (бит).

Легко показать, что процедура «стыковки с упорядочением» подмассивов некоммутативна — объем перерабатываемой информации и, по-видимому, трудность решения существенно зависят от того, какой из двух подмассивов упорядочивается «в». Точнее, количество раскрываемой неопределенности меньше при упорядочении меньшего по длине массива в большем (следовательно, использованная в приведенных примерах последовательность стыковок оптимальна).

Поясним это на рассмотренном примере 1. В 1, а подмассивы одинаковой длины — результат инвариантен относительно порядка; 1, б. $\text{НСТ}(m_2, K+m_1) = \text{НСТ}(10, 20) \approx 18,63$; 1, в.

НСТ (10, 30) $\approx$ 23,63; 1 г. НСТ (10, 40) $\approx$ 28,63. НСТ $\approx$ 81,5 (бит) вместо 71,8 (бит) в предыдущем решении.

Решение по формулам (4) и (11) связано с большой вычислительной работой. От нее избавляет программа 6 для ЭЦВ «Мир-1».

Ниже приводятся сравнительные результаты по упорядочению массива 50 элементов методом независимых частичных упорядочений, полученные с помощью описанной теоретико-информационной модели и при экспериментировании на ЭЦВМ «Мир-1» (табл. 3). Коэффициенты корреляции: $\rho(\text{НЧУ}, \text{ТЧУ}) = 0,9$

Т а б л и ц а 3

Число элементов в подмассиве	Количество переработанной информации, бит			Время, затраченное ЭВМ „Мир-1“ для упорядочения, а		
	НЧУ	НСТ	Н	ТЧУ	ТСТ	Т
5	69,07	135,42	204,49	20	50	70
10	108,96	74,13	183,08	31	25	56
15	125,34	56,90	182,23	35	23	58
20	143,95	45,73	189,67	42	19	61
25	167,36	26,39	193,76	49	11	60
30	164,46	24,81	189,28	49	12	61
35	169,27	24,63	193,90	53	11	64
40	180,95	22,91	203,86	61	9	70
45	190,87	16,99	207,86	71	9	80
50	214,21	0	214,21	78	0	78

$\rho(\text{НСТ}, \text{ТСТ}) = 0,99$; $\rho(\text{Н}, \text{Т}) = 0,95$. Это свидетельствует о высокой степени согласия между временем, затраченным ЭВМ на решение задачи упорядочения, и количеством информации, переработанной в соответствии с нашей моделью.

ПРОГРАММА 6

***10.1.A = LG(2); "ДЛ"М=5"Ш"Н1"ДО"Н"ВЫП"(В=Е(N/M)C=F(N/M)×M; D=E(N/M)×M-2; "ДЛ"1=1"Ш"1"ДО"Н/M-"ВЫП"(Т=E(LG(M×1-2)/A)+1;R[1]="Е"М<Т"ТО"(МИН"(Т));Т1=E(LG(D)/A)+1;M1=C;R1="Е"М1<Т1"ТО"(МИН"(Т1);НСТ=Σ(I=1, В-1,Σ(K=1,R[1],LG(3+(M×I-2)/(K-1))/A)+(M-R[1])/2)+Σ(K=1,R1,LG(3+D/2+(K-1)))+.5×(M1-R1);НЧУ="Е"С=О"ТО"(L(M)×N/M)"И"(L(M)×B+L(C));Н=НСТ+НЧУ; "ВЫВ""ТАБ"1,М,НЧУ,НОН)"ГДЕ"Н=50; Н1=5; L(Z)=LG(Π(I=1,Z.I))/A;R[50]"КО".

ПОЯСНЕНИЕ. N, M — КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ СООТВЕТСТВЕННО В ИСХОДНОМ МАССИВЕ И ПОЛНОМ ПОДМАССИВЕ. НЧУ, НСТ, Н — КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ (В БИТАХ), ПЕРЕРАБОТАННОЙ ПРИ НЕЗАВИСИМОМ УПОРЯДОЧЕНИИ ПОДМАССИВОВ (ЧАСТИЧНОМ УПОРЯДОЧЕНИИ), ПРИ СТЫКОВКЕ И ПРИ ПОЛНОМ УПОРЯДОЧЕНИИ МАССИВА.

При упорядочении массива 250 случайных чисел получены следующие данные:

$$\rho(\text{НЧУ}, \text{ТЧУ}) = 0,88; \rho(\text{НСТ}, \text{ТСТ}) = 0,99; \rho(\text{Н}, \text{Т}) = 0,81.$$

Аппроксимация по способу Чебышева полиномами вида $y = \sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x)$ [3] дала для функций $T=f(H)$ полиномы 3-й—6-й степени с хорошим приближением: среднеквадратичные отклонения находятся в пределах 0,9—2,3.

Таким образом, построенная теоретико-информационная модель удовлетворительно описывает механизм решения ЭВМ «Мир-1» задачи упорядочения массива по способу частичного упорядочения подмассивов со стыковкой.

Следующая задача заключается в выявлении ориентиров, которыми руководствуется человек при решении задачи упорядочивания и степени согласия его результатов с данными ЭВМ и теоретико-информационной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М., Гостехтеоретиздат, 1953. 608 с.
2. Абрамов А. А., Антипов И. П. Алгоритмический язык Алгол-60. М., «Просвещение», 1975. 158 с.
3. Математическая обработка экспериментальных данных на ЭЦВМ «Мир-1». Калуга, 1972. 74 с.

Поступила 2 марта 1976 г.

УДК 62.506.2

С. И. ШАПИРО, канд. психол. наук,
Е. Н. ШИЛОВА, Т. Д. БАРНАГЯН

К ПРОБЛЕМЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ЧИСЛОВЫХ МАССИВОВ ЧЕЛОВЕКОМ И ЭВМ. СООБЩЕНИЕ 2

В [1] построена теоретико-информационная модель решения задачи упорядочения числовых массивов ЭВМ по способу разбиения на подмассивы. В данной работе предпринята попытка на основе массового эксперимента с человеком изучить механизм решения им той же задачи и сделать некоторые заключения относительно общности механизма с теоретико-информационной моделью (динамикой ЭВМ) и его специфике.

Эксперимент с человеком

Каждое число использованного в испытаниях на ЭВМ массива [1] наносится на отдельную карточку из плотного картона размером 5 см×5 см. Затем карточки тщательно перетасовываются и путем случайных выборок формируется исходный массив, который разбивается на подмассивы в соответствии с заданным значением p . Испытуемому предлагалось произвести независимое упорядочение подмассивов (ЧУ) и затем — стыковку (СТ) с упорядочением всего массива. Они предупреждены о том, что крите-

рием эффективности является безошибочность и скорость решения. Таким образом, для создания сопоставимых условий с ЭВМ человеку навязывается система действий, отвечающих второй стратегии. Для дальнейшего «уравнивания» необходимо было исключить возможность одновременного обозрения человеком

Таблица 1

Зависимость времени решения задачи человеком от P , мин
Стратегия 2

Время, № испытуемого P	ТЧУ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	4	4	4	3	4	2,5	2,5	3	4,5	3	3	2,5
10	5	5	4	4	3	3,5	4	2,5	4	3,5	4	4
15	6	5	4	4	4	3,5	4	3	4	4	5	5
25	6	5	5	4	6	4,5	5	4	4,5	4	5	5
30	6	—	—	3	5	5,5	4	4	5	4	5	6
35	6	5	5	4	5	4	3	5	5,5	5	6	6,5
50	8	7	7	6	6	5	5,5	7	7	4	9	8

Примечание. Данные 1 и 13 относятся к одному испытуемому в двух повторяющихся экспериментах.

Продолжение табл. 1

Среднее по испытуемым 1—12	ТСТ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3,3	5	6	5	6	5	3	5	6	5	4,5	6	6,5
3,8	4	5	4	5	4	7	4	3	5	3	5	4,5
4,3	3	3	4	3	3	3,5	2,5	2,5	2,5	4,5	4	3,5
4,8	2	2	2	2	2	2	1	1,5	1,5	2	2	2,5
4,7	2	—	—	2	2	1,5	1,5	1,5	1	2,5	3	2,5
5,0	2	2	2	2	2	2	1	1	1,5	1,5	2	2
6,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 1

Среднее по испытуемым 1—12	Т												Среднее по испытуемым 1—12
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5,2	9	10	9	9	9	5,5	7,5	9	9,5	7,5	9	9	8
4,5	9	10	8	9	7	10,5	8	5,5	9	6,5	9	8,5	8
3,2	9	8	8	7	7	7	6,5	5,5	6,5	8,5	9	8,5	8
1,9	8	7	7	6	8	6,5	6	5,5	6	6	7	7,5	6,5
2,0	8	—	—	5	7	7	5,5	5,5	6	6,5	8	8,5	6
1,7	8	7	7	6	7	6	4	6	7	6,5	8	8,5	6
0	8	7	7	6	6	5	5,5	7	7	4	9	8	6,5

скольких карточек. В связи с этим карточки во время эксперимента обращены к испытуемому обратной стороной.

Время частичного упорядочения (ТЧУ) и стыковки (ТСТ) фиксировалось экспериментатором. Длительность одного эксперимента — не более 1,5 часа.

Т а б л и ц а 2

Коэффициент корреляции, № испытуемого	С ЭВМ			С теоретико-информационной моделью		
	ТЧУ	ТСТ	Т	НЧУ	НСТ	Н
1	0,93	0,94	—0,25	0,91	0,94	—0,30
2	91	94	—23	86	96	—24
3	96	92	—11	89	91	—14
4	77	94	—11	68	96	—10
5	80	95	—04	82	95	—01
6	79	52	—76	86	56	—75
7	71	95	—25	72	97	—21
8	94	99	70	86	99	71
9	88	88	14	77	92	32
10	59	85	—61	68	82	—66
11	93	93	29	90	93	14
12	96	97	—01	96	97	—13
13	92	88	—42	88	87	—51
Средние результаты по испытуемым 1—12	99	94	—18	94	94	—18

Результаты и обсуждение

Для 50-элементного массива, с которым мы экспериментировали на ЭВМ и теоретико-информационной модели [1] (табл. 3), получены следующие данные.

Т а б л и ц а 3

Время человека (массив 250 чисел), мин

В процессе формирования навыка

На уровне прочного навыка

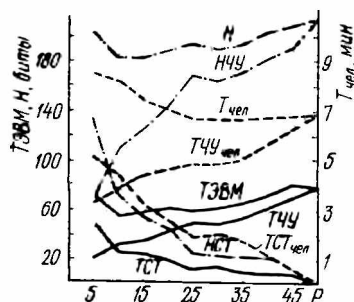
Р	ТЧУ	ТСТ	Т	ТЧУ	ТСТ	Т
5	17,7	44,4	62,1	11,7	38,5	50,2
15	22,2	40,3	62,5	18,2	32,3	50,5
30	28,3	32,3	60,6	21,6	25,6	47,2
50	33,9	24,6	58,5	27,5	21,0	48,5
60	29,3	18,8	48,1	27,2	20,0	47,3
80	29,7	14,8	44,5	28,3	15,0	43,3
110	31,2	11,3	42,5	26,2	10,2	36,4
125	46,3	15,5	61,8	34,2	7,8	42,0
150	35,8	9,0	44,8	28,8	7,0	35,8
200	34,0	5,5	39,5	29,6	5,8	35,4
225	34,2	3,6	37,8	32,0	3,0	35,0
250	40,5	0	40,5	38,3	0	38,3

Таблица 1

Коэффициенты корреляции: человек — ЭВМ, человек — информационная модель (массив 250 чисел)

Данные человека		ЭВМ			Теоретико-информационная модель		
		ТЧУ	ТСТ	T	ТЧУ	НСТ	H
В процессе формирования навыка	ТЧУ	0,76	0,83	-0,16	0,87	0,87	-0,01
	ТСТ						
На уровне прочного навыка	ТЧУ	0,85	0,84	-0,23	0,95	0,88	-0,01
	ТСТ						

На этой основе составлена таблица коэффициентов корреляции между временем, затраченным испытуемыми при различных значениях p и соответствующим временем ЭВМ, а также количеством информации, вычисленной согласно теоретико-информационной модели (табл. 2).



Динамика работы человека, ЭВМ и теоретико-информационной модели: — — — — — данные ЭВМ; — — — — — данные теоретико-информационной модели; — — — — — данные человека.

Данные табл. 3 [1], а также средние данные табл. 1 этой статьи использованы для построения графиков, отражающих динамику и степень согласия работы человека ЭВМ и информационной модели (рисунок).

Результаты эксперимента с массивом 250 чисел отражены в табл. 3 и 4.

1. При экспериментировании с человеком приходится учитывать «внутренний» фактор, накладывающийся на функцию $T(p)$, — обучение, формирование навыка и т.п.

В процессе обучения у испытуемых в ходе эксперимента. Этот фоновый (шумовой) фактор проявляется в независимости от p уменьшении абсолютных значений T по мере продолжения испытаний. Нас, однако, беспокоило другое. Если процесс обучения протекает неравномерно, то может оказаться, что для различных значений p отвечают различные отрицательные значения ΔT и тогда нарушится динамика исследуемого процесса. Для исключения «экспериментальной грязи» представляется два пути.

1) Довести у испытуемых навык упорядочения до максимальной высокой степени путем предварительной тренировки. Или иначе — организовать контрольный эксперимент на уровне пропускной способности их соответствующих информационных каналов. Показателем достижения этого уровня является устойчивое повторение результатов.

2) Учитывая обнаруженную у человека тенденцию к уменьшению ТСТ и $T_{\text{общ}}$ и возрастанию ТЧУ с ростом p , «пустить», эксперимент от больших значений p к меньшим с тем, чтобы обучаемость «работала» в противоположном направлении — уменьшения $T_{\text{общ}}$ с убыванием p и т. д. Если выявленные ранее зависимости времени от p проявятся и в этом случае (пусть менее четко), то это убедительно свидетельствует в их пользу.

Приходится, однако, иметь в виду, что обратное неверно: «исчезновение», смазывание зависимостей может оказаться следствием недостаточности методики.

В табл. 3 и 4 по отдельности даны результаты в процессе формирования и на уровне прочного навыка. Как видим, абсолютные значения времени существенно различны (табл. 3), тогда как динамика процесса мало изменяется — коэффициенты корреляции близки (табл. 4).

В табл. 5—7 отражены наши попытки исследования описанных ранее закономерностей переработки информации человеком в возрастном плане путем сравнения результатов, полученных учащимися среднего (5—6 кл.) и старшего (9—10 кл.) школьного возрастов в сопоставимых условиях. Для большей объективности эти материалы получены с использованием обеих методик.

Можно отметить, что во всех соответствующих случаях абсолютные затраты времени у старшеклассников меньше, чем у школьников 5—6 кл. Однако динамика, описываемая коэффициентами корреляции, устойчива.

Таблица 5
Среднее время, затрачиваемое испытуемым на решение задачи упорядочения,

Р	5—6 кл.			9—10 кл.		
	ТЧУ	ТСТ	Т	ТЧУ	ТСТ	Т
5	3,2	5,3	8,6	2,9	3,6	6,5
10	4,0	4,5	8,5	3,4	3,4	6,7
15	4,5	4,1	8,6	3,6	2,9	6,4
20	5,0	3,4	8,3	4,4	2,9	6,7
25	5,6	2,4	8,0	4,7	3,0	7,7
30	5,6	2,7	8,3	4,9	1,9	6,7
35	6,0	1,9	7,8	4,8	1,7	6,5
50	7,8	0	7,8	5,9	0	5,9

Проанализируем полученные результаты.

Время, затрачиваемое человеком на частичное упорядочение (ТЧУ) и стыковку с доводкой (ТСТ) при различных способах

Т а б л и ц а

Коэффициенты корреляции между ТЧУ, ТСТ, Т человека и соответствующими значениями ЭВМ и теоретико-информационной модели (испытуемые — школьники 5—6 классов, массив 50 чисел)

Испытуемые	Время	ЭВМ			Теоретико-информационная модель		
		ТЧУ	ТСТ	Т	НЧУ	НСТ	Н
П. А.	ТЧУ	0,96			0,94		
	ТСТ		0,90			0,88	
	Т			—0,52			—0,5
К. У.	ТЧУ	0,94			0,94		
	ТСТ		0,87			0,85	
	Т			—0,69			—0,7
Г. Р.	ТЧУ	0,9			0,82		
	ТСТ		0,70			0,64	
	Т			+0,51			+0,5
Я. К.	ТЧУ	0,84			0,87		
	ТСТ		0,86			0,85	
	Т			—0,52			—0,5
Щ. Е.	ТЧУ	0,92			0,94		
	ТСТ		0,88			0,87	
	Т			—0,70			—0,7
П. С.	ТЧУ	0,95			0,89		
	ТСТ		0,91			0,92	
	Т			0,08			0,1
П. О.	ТЧУ	0,91			0,96		
	ТСТ		0,97			0,96	
	Т			—0,45			—0,4
Е. Г.	ТЧУ	0,97			0,94		
	ТСТ		0,84			0,85	
	Т			—0,11			—0,1
Е. Р.	ТЧУ	0,84			0,82		
	ТСТ		0,86			0,87	
	Т			—0,62			—0,6
А. Н.	ТЧУ	0,99			0,95		
	ТСТ		0,89			0,89	
	Т			0,27			0,3
П. Р.	ТЧУ	0,99			0,98		
	ТСТ		0,72			0,69	
	Т			—0,20			—0,2
Т. Р.	ТЧУ	0,98			0,99		
	ТСТ		0,93			0,94	
	Т			0,22			0,2
Средние результаты	ТЧУ	0,99			0,98		
	ТСТ		0,90			0,90	
	Т			—0,45			—0,4

разбиения массива на подмассивы, имеет высокую положительную корреляцию с соответствующим временем ЭВМ и с количеством информации, перерабатываемым согласно теоретико-информационной модели (НЧУ, НСТ).

Напротив, общее время упорядочения (T) человеком и ЭВМ чаще всего имеет небольшую отрицательную корреляцию. Де

Таблица 7

Коэффициенты корреляции между ТЧУ, ТСТ, Т человека и соответствующими значениями ЭВМ и теоретико-информационной модели (испытуемые — школьники 9—10 классов, массив — 50 чисел)

Испытуемые	Время	ЭВМ			Теоретико-информационная модель		
		ТЧУ	ТСТ	Т	НЧУ	НСТ	Н
У. И.	ТЧУ	0,71			0,80		
	ТСТ		0,67			0,66	
П. О.	ТЧУ	0,88		—0,64	0,80		—0,52
	ТСТ		0,59			0,59	
О. Г.	Т			0,20			0,42
	ТЧУ	0,91			0,93		
К. Т.	ТСТ		0,98			0,98	
	Т			0,08			0,17
Т. И.	ТЧУ	0,68			0,60		
	ТСТ		0,38			0,37	
Б. С.	Т			—0,56			—0,51
	ТЧУ	0,96			0,94		
Ш. О.	ТСТ		0,92			0,92	
	Т			—0,27			—0,18
Средние результаты	ТЧУ	0,76			0,85		
	ТСТ		0,91			0,92	
	Т			—0,59			—0,63
	ТЧУ	0,98			0,97		
	ТСТ		0,93			0,92	
	Т			—0,16			—0,11
	ТЧУ	0,98			0,98		
	ТСТ		0,77			0,76	
	Т			—0,58			—0,39

том, что T человека, в основном, положительно коррелирует его ТСТ (оба убывают с возрастанием p) и отрицательно ГЧУ. Так, по средним данным у человека $\rho(T, ТСТ) = 0,94$; $T, ТЧУ) = -0,80$. Для ЭВМ же согласие имеет противоположную направленность: высокая положительная корреляция T ГЧУ и отрицательная — с ТСТ.

Иначе, в динамике затрат времени на упорядочение массива тодом частичных упорядочений определяющей компонентой я человека является ТСТ, для ЭВМ — ТЧУ¹.

Так, по суммарным затратам времени результаты человека ЭВМ имеют низкую степень согласия. Однако характеристики дельных элементарных операций (ТЧУ, ТСТ) близки. Эту асль можно выразить иначе: на уровне микро-процессов обна- живается общность динамики временных показателей человека ЭВМ, на уровне макро-процессов выступает их различие.

«Сходство» человека и ЭВМ открывается при анализе струк- ры и, как правило, маскируется на уровне нерасчлененного

¹ Отметим, что индивидуальные отклонения, имеющие место у отдельных испытуемых, по-видимому, представляют большой интерес и являются предме- м специального исследования.

единства. Причина, мы видели, в том, что результирующие у человека и ЭВМ примыкают к различным полюсам процесса упорядочения.

Что касается количества перерабатываемой информации, то оно, как T для ЭВМ, хорошо согласовано с НЧУ и имеет противоположную направленность с НСТ. Отсюда, прежде всего, следует, что теоретико-информационная модель, построенная в [1], по всем рассматриваемым показателям неплохо описывает механизм переработки информации ЭВМ. Это отчетливо видно из приведенных таблиц и графиков.

Далее, как и следовало ожидать, информационный процесс в модели ($H(p)$), сонаправленный с T ЭВМ, противоположен изменению T человека. Теоретико-информационная модель согласована с действиями человека только на стадии элементарных процессов. На более высоких, «выходных» уровнях согласие проявляется. Пригодная для описания действий ЭВМ эта модель оказалась не в состоянии отразить динамику сложных человеческих процессов.

В [1] было показано, что при решении задачи методом частичных упорядочений (вторая стратегия) результат достигается ценой переработки меньшего количества информации, чем в случае естественного упорядочения (первая стратегия). С другой стороны, с возрастанием p режим частичных упорядочений приближается к естественному, который в чистом виде оказывается его частным случаем при $p=n$. Отсюда следует, что временные затраты ЭВМ, динамика которого с достаточной полнотой описывается теоретико-информационной моделью, должно возрастать вместе с p , т. е. с приближением режима к естественному.

Напротив, человек в силу причин, о которых сказано ниже, лучше работает в естественном, привычном режиме. Поэтому закономерно, что с приближением к этому режиму его временные характеристики улучшаются (хотя, повторяем, ему приходится переработать большее количество информации)².

Сопоставим поэтапно динамику трех моделей (на примере 50-элементного массива). В интервале p от 5 до 10 все показатели — $T_{\text{чел}}$, T ЭВМ, H убывают, следуя за изменением стыков (см. рисунок). Однако адекватность $T_{\text{чел}}$ информационному показателю как объективной мере сложности относится лишь к первому этапу. Согласно теоретико-информационному расчету, с возрастанием p задачу решать все труднее (увеличивается H), что отражено в динамике временных затрат ЭВМ. Человек

¹ Объективная характеристика ситуации — количество содержащейся в ней для испытуемого неопределенности при прочих равных условиях субъективно воспринимается им как мера трудности решения задачи. Так, в инструкции к эксперименту вопрос о порядке стыковки специально не оговаривался. Тем не менее все испытуемые стыковали меньший массив в большем, естественном, утверждая, что в этом случае просто легче решать.

² Образно выражаясь, трудна не большая, а непривычная работа.

с уменьшением числа стыковок приближается к привычному режиму естественного упорядочения, и в его механизме подключается арсенал логических координат [2], «человеческих средств» — группировки, перекодирования, укрупнения алфавита, запоминания, планирования — вызывающий отклонения «от машинного». В итоге процесс у человека в основном развивается в прежнем направлении. Точнее, примерно к $p=30$ $T_{\text{чел}}$ достигает минимума и далее стабилизируется с небольшими колебаниями в ту или иную сторону.

С другой стороны, T ЭВМ и H информационной модели, согласованные между собой, проявляют в среднем тенденцию к ускоренному возрастанию. Особенно четко, как и следовало ожидать, различие выступает на завершающем промежутке: 30—50. Таким образом, действия человека оказываются сплавом объективных закономерностей теоретико-информационной модели со специфично человеческими механизмами переработки информации.

Сказанное, в частности, подтверждается в повторных экспериментах на тех же массивах чисел. Так, данные под № 1 и 13 относятся к одному и тому же испытуемому (табл. 1, 2). Интервал между экспериментами — 4 часа. Как видим, абсолютные издержки времени в повторном эксперименте (№ 13) уменьшились, но, с другой стороны, уменьшились и коэффициенты корреляции с ЭВМ и теоретико-информационной моделью в ЧУ и СТ. Возросла отрицательная корреляция в суммарных затратах времени.

Аналогичные результаты получены с другими испытуемыми. Большинство испытуемых отмечает, что задачу стало легче решать (общее знакомство с массивом, примерное знание «краевых» элементов, запоминание некоторых пар и троек в упорядоченном массиве и др.). Таким образом, в повторных экспериментах за увеличением рассогласования в числовых показателях идет усиление «человеческого» фактора, потенциал которого заключается как бы не сразу. Улучшение времени получено не ценой исключения избыточности, перехода к оптимальной с теоретико-информационной точки зрения стратегии, а за счет специфично человеческих механизмов переработки информации.

Каковы эти механизмы? Это, прежде всего, эвристики, исключающие целые области поиска, выводящие к наиболее перспективным направлениям. Взяв карточку, испытуемый мысленно относит ее к одной из возможных зон: «в начале», «в конце», «где-то в середине», «ближе к началу» и т. д. Речь идет о первом наведении. Определяется общий ход дальнейшего поиска — вверх или вниз по массиву. Нахождение зоны обычно занимает мало времени, хотя на этом уровне снимается большая, если не основная доля разнообразия.

Следующий этап, внешне выраженный замедленными действиями, — уточнение положения карточки внутри зоны. Теперь

ограничение происходит «по непрерывности»: близким номером карточек отвечают близкие «расстояния» в массиве.

Имеются и более частные эвристики: ориентация по первым цифрам на сравниваемых карточках, по значимости чисел и т.д. Особую роль в этом механизме играет оперативная память человека: запоминание положения и значения отдельных карточек в первую очередь — на краях (до 6—8); запоминание числового состава упорядочиваемого подмассива, групп соседних карточек, зрительное запоминание места, где поставлена очередная карточка и др.

Такая организация действий выработана жизненной практикой человека. Как и в более широком плане, справедливо замечание Лешли о том, что упорядочение двигательной деятельности предполагает существование «на втором плане» вызванных прошлым опытом процессов представления. Основой поведения человека в изучаемой ситуации, таким образом, является регулируемый эвристиками принцип проб и ошибок.

ВЫВОДЫ

1) Число выполненных операций не может служить критерием для сравнения времени работы ЭВМ и человека.

2) Составленная в рамках шенноновской теории информации математическая модель на всех уровнях адекватно описывает динамику временных показателей работы ЭВМ при решении задачи упорядочения массива методом частичных упорядочений. Из модели следует, что оптимальным для ЭВМ является режим частичных упорядочений с разбиением массива на 5—6 по возможности равных частей. При этом процедура стыковки оказывается некоммутативной — выигрыш в раскрываемой неопределенности получается за счет упорядочения меньших по длине подмассивов в больших. Этот результат используется при программировании.

3) Теоретико-информационная модель приемлема для описания функции $T(p)$ человека на уровне сравнительно элементарных процессов частичного упорядочения и стыковки с долей (микро-уровне) и непригодна для описания его сложной эвристической деятельности (на макро-уровне). Общность человека и машины открывается при анализе структуры деятельности, как правило, маскирующей в нерасчлененном единстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапиро С. И., Цехой С. В., Корнез А. В. К проблеме упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ. Сообщение 1 (см. статью в настоящем сборнике).
2. Шапиро С. И. От алгоритмов — к суждениям. М., «Сов. радио», 1978, 288 с.

Поступила 2 марта 1978 г.

**СВОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. СООБЩЕНИЕ 7**

Физическая интерпретация отношений. В сообщении 6 настоящей работы¹ отмечена необходимость и целесообразность рассмотрения устройств, способных устанавливать наличие тех или иных отношений между элементами отображаемой ситуации. Будем называть в дальнейшем такие устройства «детекторами отношений». Ниже рассмотрены некоторые способы реализации детекторов отношений, основанные на интерпретации основных компонентов отношения, выделяемых в общепринятом определении математического понятия «отношение» [1, с. 17].

Проще всего перейти к описанию способов реализации указанных детекторов исходя из известной геометрической интерпретации отношений с помощью графов [2, с. 19]. Графу любого отношения легко поставить в соответствие некоторого множества физических элементов, влияющих друг на друга таким образом, как это требуется при интерпретации данного математического отношения. Если в компетенцию любой интерпретации отношения входит указание на способы, посредством которых возникла структура, соответствующая интерпретируемому отношению, то детекторы отношений предназначены именно для реализации процедур, осуществляющих формирование этой структуры.

Для того чтобы обеспечить формирование соответствующих структур, необходимо в явном виде представить совокупность процессов и операций, протекающих в детекторах конкретных отношений. Анализ свойств различных отношений позволяет предположить, что основное содержание процессов, протекающих в детекторах отношений, должны составлять операции взаимного сравнения свойств отдельных элементов на множестве определения отношения и действия по формированию необходимой связи между элементами по результатам сравнения, отражающей свойства искомого отношения.

Практический интерес представляет установление искомого отношения на множестве объективно существующих элементов заданными свойствами. Вначале рассмотрим такие свойства, которые относятся к классу интенсивностей, т. е. таких свойств, которые могут быть присущи элементам в большей или меньшей степени.

¹ Ю. П. Бугай. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 6. — Сб. «Проблемы бионики». Вып. 18. Харьков, 1977, с.

На примере детектора, выделяющего в ситуации отношение эквивалентности на множестве объектов, обладающих одним единственным характеристическим признаком — интенсивности рассмотрим один из возможных способов реализации детектора отношений. Нашей задачей в данном примере является выделение из всего множества элементов подмножеств с равными интенсивностями характеристического свойства.

Поставим в соответствие каждому свойству, присущему в той или иной степени элементу множества, некоторый определенный физический сигнал. Множеству величин сигналов поставим взаимно-однозначное соответствие множество определенных состояний некоторых физических элементов. При этом большее значению свойства — интенсивности — ставится в соответствие большее значение сигнала, равным значениям — равные сигналы. Будем предполагать, что указанные физические элементы являются линейными и назовем их R -элементами.

Входы R -элементов, на которые поступают сигналы от объектов анализируемой ситуации, назовем R -входами, отличая их от других входов R -элементов, по которым сигналы могут поступать от других таких же элементов. Входы второго типа будем называть m -входами, или входами взаимосвязи.

Каждое состояние R -входа R -элемента в рассматриваемой физической интерпретации абстрактного отношения ставится в соответствие одному определенному абстрактному математическому элементу. R -элемент формирует выходные сигналы, поступающие как на его «собственный» выход, R -выход, так и на выходные m -выходы, предназначенные для взаимосвязи с другими R -элементами через их m -входы. Рассматриваемое нами свойство интенсивности может, например, соответствовать яркости того же элемента реального изображения, наблюдаемого субъектом, спроектированного на матрицу фотоприемников, на экран передающей телевизионной трубки и т. п.

Другим компонентом содержания отношения, важным для рассматриваемой интерпретации, являются свойства отношений. Свойства математических отношений есть результат абстрагирования от особенностей взаимодействия и взаимосвязи объектов материального мира, хотя на вышних уровнях абстракции связь со свойствами взаимодействия непосредственно может просматриваться. Конечно, далеко не всякая связь (отношение реальных объектов) может быть сведена к соответствующему физическому взаимодействию. Но любая связь и отношение могут быть интерпретированы в виде некоторого физического взаимодействия или связи, как мы позволяем себе, например, геометрической интерпретации отношений с помощью графов, соединять два узла (элементы сколь угодно сложной природой некоторой направленной кривой). Главное, что нужно обеспечить в интерпретации свойств отношений, — это наличие соответ-

между свойствами отношения и свойствами интерпретирующего взаимодействия.

Рассмотрим подробнее структуру отдельного R -элемента и особенности взаимосвязи таких элементов на их множестве. Каждый R -элемент, помимо одного R -входа и R -выхода, имеет столько m -входов и m -выходов, сколько всего предполагается использовать интерпретирующих R -элементов.

Функциональная схема отдельного R -элемента, используемого в детекторах различных отношений, схематически изображена на рисунке. Каждый элемент, кроме R -входа (рецепторного входа), имеет определенное количество m -входов и m -выходов, обозначенных на схеме соответственно парами цифр $11; 21; 31 \dots N1$ (m -входы) и $11; 12; 13; \dots, 1N$ (m -выходы). Сигнал с R -входа данного элемента, представленный в N экземплярах (где N — полное число R -элементов, входящих в структуру данного детектора отношений), поступает на собственный вход элемента 11 и на m -выходы $12; 13; \dots, 1N$ данного элемента, через которые сигнал с R -входа попадает на соответствующие входы (m -входы) всех остальных элементов. В паре цифр, используемых для обозначения m -входов элемента, первая цифра означает номер R -элемента, с которого сигнал поступил на данный элемент, а вторая — номер этого элемента.

Цифрами $1, 2, 3, \dots, N$ на схеме R -элемента обозначены схемы сравнения, на выходах которых формируется нулевой или единичный сигнал в зависимости от того, равны или не равны сравниваемые сигналы, поступающие на R -входы различных элементов, и в зависимости от типа детектора отношений. С выходов схем сравнения сигналы результата сравнения поступают на нулевые потенциальные входы 2 триггеров $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$, которые в исходном состоянии имеют единичный сигнал на выходе по специальному сигналу, поступающему на входы триггеров 1, переводящему их в это состояние. По нулевому результату схем сравнения соответствующие триггеры переводятся в нулевое положение, при ненулевом результате — соответствующие триггеры не изменяют своего единичного состояния.

Сигналы с триггеров поступают на двухвходовые схемы совпадения $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$ по входам 1. По входам 2 этих же схем совпадения сигналы с m -входов через схемы нормировки сигналов на единицу, обозначенные на рисунке через $H_1, H_2, H_3, \dots, H_N$, попадают на выход схем совпадения и далее на N -входовую схему «или». С выхода схемы «или» сигнал поступает на схему совпадения « I_0 » данного R -элемента по ее входу 2. Выходной триггер T_0 , имеющий в исходном состоянии нулевой сигнал на выходе, переводится в единичное состояние выходным сигналом со схемы совпадения I_0 , если на входе данного элемента (на R -входе) есть ненулевой сигнал (для рефлексивного отношения), или по сигналам, поступившим по m -входам от других R -элементов.

альной возможности указания этого подмножества. В противном случае отношение не может считаться заданным. Для того чтобы в R -матрице существовала возможность одновременного выделения подмножества только входных сигналов, равных данному, в схеме используется блок «или», через который сигналы от других R -элементов с их m -выходов поступают на R -выход данного элемента, если на схеме совпадения H_0 по входу I имеется подпор от собственного входного сигнала данного R -элемента.

Включение схемы «или» в структуру R -элемента позволяет с помощью специального стробирующего импульса, поданного на R -вход любого интересующего нас элемента, выяснить, с какими другими данный интерпретирующий R -элемент находится в искомом отношении. По сформировавшимся связям стробирующий импульс попадает на выходы всех R -элементов, имитирующих абстрактные элементы, находящиеся в искомом отношении.

Под результатом работы каждой конкретной R -матрицы, используемой в качестве детектора отношения, будем понимать следующее. В результате переключения связей между m -входами и m -выходами R -элементов под действием входных сигналов формируется такая структура из R -элементов, в которой сигнал опроса, посланный на вход (R -вход) любого интересующего нас R -элемента, приводит к одновременному появлению выходного сигнала на R -выходах только тех интерпретирующих элементов, которые находятся с опрашиваемым в искомом отношении.

Так, если R -матрица используется в качестве детектора отношения равенства, то при подаче сигнала опроса (которого импульса, способного изменить состояние триггера по импульсному входу) на любой интересующий нас элемент по R -входу на R -выходах данного и всех других R -элементов с такими же входными сигналами на R -входах появляется выходной сигнал (стандартный или такой же, как и на входе), т. е. актуализируется одно из подмножеств равных входных сигналов. При опросе любого другого R -элемента с другим сигналом на R -входе реализуется подмножество других входных сигналов, равных сигналу данного. Последовательным стробированием всех без исключения элементов матрицы по R -входам можно осуществить однократную без повторения) актуализацию последовательно всех подмножеств равных сигналов, имевшихся на входах R -матрицы в некоторой ситуации.

В исходном состоянии матрицы, на входы которой еще не поданы сигналы (или, что все равно, поданы нулевые входные сигналы), все элементы связаны со всеми, что обеспечивает попадание импульса опроса, посланного на R -вход любого R -элемента, на выходы всех остальных R -элементов. Полный цикл работы матрицы состоит из нескольких тактов. В первом такте R -матрицы равенства осуществляется установка триггеров $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$ в единичное состояние и триггеров T_0 всех элементов по входам I в нулевое состояние. Во втором такте на все R -вхо-

ды матрицы подаются сигналы, соответствующие свойствам элементов исследуемой ситуации. В этом такте осуществляется формирование связей между m -входами и m -выходами всех R -элементов. Формирование связей происходит путем исключения из всех связей тех, которые не соответствуют свойствам интерпретируемого отношения. В геометрической интерпретации отношения это соответствует исключению из графа полного отношения тех ветвей, которые являются лишними для интерпретируемого отношения.

В R -матрице разнества формирование связей завершается тем, что m -входы и m -выходы элементов с равными входными сигналами остаются связанными, а между элементами с разными входными сигналами (по R -входам) эти связи разрываются. Отметим, что все R -элементы по-прежнему получают сигналы о состоянии R -входов всех остальных R -элементов, но в элементах с неравными входными сигналами взаимное проникновение сигналов на R -выходы друг друга блокируется по ненулевому сигналу сравнения схем сравнения $1, 2, 3, \dots, N$ в каждом элементе. Ненулевой сигнал с этих схем сравнения переводит в нулевое состояние соответствующий триггер T_i , сигнал с которого блокирует соответствующую схему совпадения данного R -элемента, и сигнал от R -элемента с другим входным сигналом не попадает через вход 2 этой схемы совпадения на ее выход.

В алгебраической интерпретации разрыву связей между R -элементами соответствует появление нулевых элементов в матрице инцидентности. Единичным элементам матрицы инцидентности соответствуют оставшиеся связи между R -элементами.

Во втором такте формирование связей завершается. В третьем такте осуществляется последовательный опрос всех элементов R -матрицы по их R -входам подачи на эти входы коротких импульсов, способных через открытые схемы совпадения I_1 и I_0 перевести триггеры T_0 всех R -элементов в единичное состояние. По сигналу опроса, поданному на R -вход первого из опрашиваемых R -элементов, в единичное состояние переходят T_0 -триггеры тех R -элементов, на R -входах которых имеются такие же сигналы, как и у первого элемента. По заднему фронту импульса спроса осуществляется «гашение» триггеров T_0 и T_1 всех связанных с первым из R -элементов.

После актуализации на R -выходах подмножества входных сигналов, равных сигналу на входе первого стробируемого элемента, осуществляется стробирование второго R -элемента по R -входу. Если сигнал на входе второго R -элемента отличается от сигнала на входе первого, то на R -выходе второго R -элемента появляется выходной сигнал и на всех других R -выходах элементов с такими же входными сигналами, как и у второго, появляются выходные сигналы. При этом одновременно актуализуется другое подмножество равных сигналов и т. д. Повторная актуализация входных сигналов даже при наличии стробирующей

импульса на R -входе R -элемента блокируется гашением триггеров T_1 , если ранее данный R -элемент уже включался в одно из подмножеств равных сигналов.

Выше рассмотрена интерпретирующая R -матрица и соответствующий детектор отношения эквивалентности на примере R -матрицы равенства. Отношения эквивалентности рефлексивны, симметричны и транзитивны. Покажем, что предлагаемый R -элемент и матрицы из таких элементов могут быть использованы для интерпретации любых антирефлексивных и антисимметричных отношений.

Как уже выше было отмечено, для использования R -элемента, представленного на рисунке, в качестве элемента структуры R -матрицы антирефлексивного отношения в нем достаточно разорвать внутреннюю связь между собственным m -выходом $11'$ и собственным m -входом 11 . Это соответствует тому, что элемент не может находиться к самому себе в искомом данным детектором отношении. Примерами антирефлексивных отношений могут быть отношения строгого порядка, отношения различия, быть перпендикулярным и т. п.

Работа R -матрицы, используемой в качестве детектора антирефлексивного и симметричного отношения, отличается от рассмотренной только тем, что при подаче сигнала опроса на какой-нибудь R -элемент по его R -входу этот сигнал не достигает собственного выходного триггера стробируемого элемента, но попадает на выходные триггеры T_0 остальных элементов, находящихся с данным в искомом отношении. Так, для отношения «быть больше» при стробировании данного элемента в единичное состояние переходят выходные триггеры T_0 только у тех элементов, у которых сигналы на R -входах меньше, чем у стробируемого элемента. Собственный выходной триггер стробируемого элемента остается в нулевом состоянии, так как схема совпадения H_0 не имеет «подпора» по входу 2 из-за отсутствия внутреннего входного сигнала по входу 11 (см. рисунок).

Отношение «быть больше» — антисимметрично. Этому свойству отношений в R -матрицах ставится в соответствие односторонняя связь элементов. Так, при детектировании множества сигналов с целью выявить то, больше каких других является сигнал на R -входе данного R -элемента, по ненулевому результату сравнения в блоках сравнения 2, 3, 4, ..., N формируется односторонняя связь от элемента с большим входным сигналом на элементы с меньшими входными сигналами (например, сравнение пороговое и в качестве порога используется входной сигнал, поступающий по R -входу данного элемента).

Прежде чем переходить к рассмотрению возможных способов выделения подмножеств элементов анализируемой ситуации, находящихся в других искомых отношениях, подведем предварительный итог полученных результатов.

1. Выше описаны варианты физически реализуемых способов устанавливать факт наличия различных отношений между элементами реальных ситуаций, обладающими свойствами-интенсивностями.

2. Важнейшей исходной операцией, определяющей характер формирования связей множества элементов, интерпретирующего множество абстрактных элементов, находящихся в отношении является операция сравнения. Для традиционно рассматриваемых бинарных отношений на множестве элементов достаточно использовать четыре типа операций сравнения для двух сравниваемых интенсивностей: первая интенсивность равна второй величине, не равна второй, больше второй, меньше второй.

3. Выбор одной из возможных операций сравнения в детекторах различных отношений определяется свойствами различных отношений.

4. Детекторы отношений могут быть рассмотрены как автоматические устройства, осуществляющие физическую интерпретацию графов соответствующих отношений, если указано, что соответствует в этих детекторах абстрактным элементам и их характеристическим признакам.

5. Предлагаемые детекторы отношений являются, с нашей точки зрения, необходимыми компонентами устройств, осуществляющих автоматический анализ реальных ситуаций и построение моделей этих ситуаций в терминах элементов, обладающих свойствами и связанными различными отношениями.

Более подробный анализ разновидностей детекторов отношений, их функциональных возможностей и использования в устройствах автоматического построения моделей реальных ситуаций будет осуществлен после более детального рассмотрения класса отношений, порождаемых комбинациями ограниченного набора известных свойств отношений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А. И. Алгебраические системы. М., «Наука», 1970. 392 с.
2. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М., «Наука», 1977. 254 с.

Поступила 10 января 1978 г.

УДК 62.506.2

Ю. П. БУГАЙ, канд. техн. наук

СВОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. СООБЩЕНИЕ 8

Анализ и классификация отношений. Прежде чем продолжить анализ функциональных возможностей устройств, способных устанавливать наличие того или иного отношения в исследуемой ситуации, детекторов отношений, рассмотренных в сообщении настоящей работы¹, нам представляется важным выделить по-

¹ Бугай Ю. П. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 7 — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 65

ный набор отношений, которые могут быть определены на основе только ограниченного набора их свойств. При этом предполагается, что каждое конкретное отношение-класс, или множество отношений, обладающих одинаковыми свойствами, может быть выделено из всех других формально по его специфическому набору свойств, вводимому аксиоматически.

Классификация объектов любой природы предполагает четкое указание признаков, по которым осуществляется сравнение исследуемых объектов. В естественной классификации объектов [1, с. 172] в качестве оснований деления объектов на классы используются, как правило, наиболее важные существенные признаки. Роль таких признаков при традиционной классификации интересующих нас объектов — отношений — играют свойства отношений. К этим свойствам относятся рефлексивность и антирефлексивность (назовем их свойствами группы рефлексивности), симметричность, асимметричность и антисимметричность (отнесем их к группе свойств симметрии), транзитивность и антитранзитивность (назовем их свойствами группы транзитивности).

Предварительный анализ особенностей традиционной классификации отношений показал, что в ней применен принцип классификации, близкий к дихотомическому. Но не на всех этапах классификации этот принцип выдерживается, поэтому некоторые отношения оказываются неучтенными и фактически выпадают за рамки такой классификации. Например, в работе [2, с. 38] отмечается, что некоторые отношения не являются ни рефлексивными, ни антирефлексивными, другие отношения нельзя назвать транзитивными, но они не являются и антитранзитивными. Другими словами, целый ряд отношений, необходимых для отображения свойств реальных объектов, остается за пределами традиционной классификации.

Для задач отображения реальных ситуаций требуется некоторое уточнение традиционной классификации отношений. Одна из причин, вызывающих необходимость такого уточнения, связана с потребностью введения в теорию отношений целого ряда новых отношений и их свойств, которыми так богата объективная реальность. Одна из наших ближайших задач, для решения которой рассматриваются несколько другие свойства отношений, состоит во введении всех логически возможных вариантов отношений. Мы предполагаем, что существует возможность выделить дедуктивным путем такой набор отношений-классов, основываясь только на допустимых комбинациях свойств отношений, в котором найдут себе место и отношения, выпадающие из традиционной классификации.

Другая причина, по которой осуществляется некоторое перепределение свойств отношений, состоит в недостаточной дифференцированности отношений для решения специфических задач отображения реальных ситуаций на различных уровнях.

Известна интуитивно ясная близость процедур, позволяющих выделить, например, такие важные признаки двухградационных изображений, как их контуры, выпуклость контуров, вогнутость прямолинейные участки контуров и т. д., осуществляемых в рамках интегро-дифференциального анализа изображений и в терминах элементов и отношений между ними.

Так, можно выделить контуры двухградационного изображения с помощью операций типа свертки с соответствующим ядром и последующих пороговых операций и путем нахождения отношения «быть граничным» (быть крайним) для элементов этого изображения. Аналогично двояким образом можно выделить концы тонких линий в контурных изображениях, их выпуклость, вогнутость и другие признаки. Но в практике реализации технических устройств-детекторов признаков часто оказывается предпочтительным один из этих способов нахождения признаков. Поэтому важно уметь совершать взаимный переход от результатов, полученных на одном уровне анализа, к следствиям для способа реализации систем анализа ситуаций на другом уровне и других терминах.

Отметим, что в терминах элементов и отношений между ними более разработан метод дедуктивного анализа процедур по выделению признаков по сравнению с анализом процедур, совершаемых в терминах интегро-дифференциальных операций. Немало важно также обратить внимание на тот факт, что бионические исследования анализаторов нервной системы осуществляют преимущественно в рамках интегро-дифференциальных методов а построение бионических систем чаще всего целесообразно осуществлять в дискретно-логическом варианте.

Кратко резюмируя сказанное, отметим также, что описание реальных ситуаций и систем интегро-дифференциальными методами и в терминах элементов и отношений непосредственно не сравнимы. Переход от одного языка описания к другому становится возможным, если осуществить некоторую модификацию языка элементов и отношений, приблизив его к языку интегральных преобразований. Но такая модификация может быть получена лишь на основе более детальной классификации отношений, чем традиционная, и потребует рассмотрения целого ряда других неградиционных свойств отношений.

Прежде чем осуществить более детальный анализ традиционных свойств отношений, рассмотрим другой возможный вариант последовательно дихотомического деления отношений на классы. Для этого введем три группы свойств отношений и соответствующих обозначений: R — рефлексивность и $\bar{R}$ — нерефлексивность, S — симметричность и $\bar{S}$ — несимметричность, T — транзитивность и $\bar{T}$ — нетранзитивность. Здесь свойства отношений R , $\bar{S}$, T вводятся как противоречивые признаки к соответствующим положительным признакам R , S и T .

Будем предполагать, что каждая группа из двух свойств R , S и S , T и T не зависит от свойств двух других групп, и вариации свойств в пределах одной группы порождают отдельные классы отношений. Например, первая группа R и $\bar{R}$ порождает класс рефлексивных и класс нерефлексивных отношений. Других классов отношений, порождаемых группой свойств рефлексивности R и $\bar{R}$, быть не может, так как признаки R и $\bar{R}$ по условию противоречивы.

Вместо длинного словесного описания всех отношений, которые могут быть получены для различных комбинаций их свойств, мы воспользуемся описанием наборов свойств всех возможных отношений-классов в форме логического высказывания. Тот факт, что конкретное отношение-класс может обладать только одним каким-либо свойством из каждой группы, может быть записан в виде высказываний: $(R \vee \bar{R})$, $(S \vee \bar{S})$ и $(T \vee \bar{T})$, где $\vee$ — знак дизъюнкции в исключаяющем смысле. Тогда полный набор признаков данного отношения можно записать в форме высказывания

$$(R \vee \bar{R}) \wedge (S \vee \bar{S}) \wedge (T \vee \bar{T}). \quad (*)$$

Значения логических переменных и значение истинности высказывания (*) приведены в таблице.

В первом столбце таблицы указаны значения логических переменных, приобретающие значения ноль, если соответствующее свойство конкретного отношения отсутствует, и единица — при наличии данного свойства у отношения. Все значения высказывания (*), представленные во втором столбце этой же таблицы, истинны, так как в каждой круглой скобке выражения (*) одна из переменных обязательно приобретает единичное значение и вся скобка в целом оказывается равной единице. Каждому единичному значению истинности высказывания (*) соответствует определенное отношение с особым набором свойств, указанным в данной строке таблицы в виде единичных значений логических переменных, т. е. формально трем введенным группам свойств соответствует 8 отношений.

Одним из исходных представлений, лежащих в основе математического понятия отношение, является представление об упорядоченной паре элементов, которое считается интуитивно ясным и не подлежит какому-нибудь другому определению, кроме острого, через указание на примеры. Другими словами, предполагается очевидной возможность различать пары элементов, рас-

№ п. п	1			2
0	—	—	—	—
1	1 0	1 0	1 0	1
2	1 0	0 1	1 0	1
3	1 0	0 1	0 1	1
4	1 0	1 0	0 1	1
5	0 1	1 0	1 0	1
6	0 1	0 1	1 0	1
7	0 1	0 1	0 1	1
8	0 1	1 0	0 1	1

положенных в прямом и обратном порядке. Указание на наличие порядка элементов в паре есть фактически указание на наличие простейшего отношения еще до того, как определено понятие отношения на множестве пар элементов. В связи с этим следует признать, что некоторые понятия, соответствующие простейшим отношениям, появляются в рассуждениях как первичные и лишь поясняются на примерах.

При анализе свойств отношений и их классификации воспользуемся матричной интерпретацией отношений [2, с. 17—18]. Пусть M — множество, состоящее из n элементов, а r — отношение, заданное на нем. Перенумеруем произвольным образом элементы множества M числами от 1 до n и построим квадратную таблицу размером $n \times n$. Строка таблицы под номером i соответствует i -му элементу множества, а k -й столбец — k -му элементу множества. На пересечении i -й строки и k -го столбца ставится единица, если выполнено соотношение $x_i r x_k$, и нуль — если соотношение не выполнено. Другими словами, если задана матрица размером $n \times n$ из нулей и единиц и произвольным образом выбрана нумерация на множестве элементов M , то тем самым M задается некоторое отношение r .

Условимся различать пары элементов, расположенные в прямом порядке $\langle x_i, x_k \rangle$ (прямые пары), и пары этих же элементов, взятых в обратном порядке $\langle x_k, x_i \rangle$ (обратные пары). При упорядочении пары элементов $\langle x_i, x_k \rangle$ и соответствующего ей матричного элемента a_{ik} первый слева направо индекс (в данном случае i) будем считать номером строки, а второй индекс (в данном случае k) — номером столбца матрицы. Если $k > i$, то будем считать пару прямой, если $k < i$ — обратной парой. Аналогично для матричных элементов a_{ik} будем считать соответствующим прямой паре при $k > i$ и обратной паре — при $k < i$.

Учитывая принятые выше условия, отметим, что матричные элементы прямых пар располагаются над диагональными элементами матрицы, матричные элементы обратных пар — под диагональными элементами. Для самих диагональных элементов матрицы, соответствующих возможности или невозможности для элементов множества M находиться в данном отношении к самому себе, ничего не говорится относительно порядка расположения элементов в паре.

Необходимо отметить, что формальному редуцированному определению свойства рефлексивности соответствует несколько конкретных трактовок этого свойства, каждая из которых открывает свои возможности в детализации представлений о рефлексивности. Первую из таких трактовок рефлексивности можно опосредовать как характеризующую способность всех элементов множества M находиться к самим себе в таком же отношении, как и к другим элементам множества M . Развитие этой трактовки приводит к возможности введения представления о градуальной изменении свойства рефлексивности в пределах между рефле

ивностью и антирефлексивностью. Другая трактовка включает гипотезу о симметричном характере отношения элементов к самим себе.

Так, можно считать, что отношение рефлексивно, если все элементы x_i множества M так относятся к своим мысленным дубликатам x_i , как эти дубликаты x_i — к своим оригиналам. Другими словами, обычную символическую запись свойства рефлексивности $x_i r x_i$ можно расчленить на две части $x_i r x_i$, $x_i r x_i$, где x_i — оригинал элемента; x_i — дубликат оригинала; r — рассматриваемое отношение. Используя вторую трактовку рефлексивности, можно расширить содержание традиционного понятия рефлексивность таким образом, чтобы в компетенцию теории отношений можно было включить представления о прямых и обратных связях, которые будут рассмотрены как новые свойства отношений, учитываемые в расширенной теории.

Возвращаясь к задачам классификации, отметим, что традиционно рассматриваемые отношения и отношения в приведенной дихотомической системе отношений можно назвать однородным в том смысле, что свойства каждого из таких отношений касаются всех элементов. Так, если отношение рефлексивно, то любой элемент может находиться в данном отношении к самому себе, а не только некоторые из находящихся в данном отношении.

Отношения, свойства которых представлены в первой графе таблицы, включают все логически возможные варианты отношений с данными свойствами. Других однородных отношений, выпадающих из дихотомической классификации, быть не может. Учитывая, что только некоторые отношения, свойства которых представлены в таблице, совпадают с выделенными в традиционной классификации, обозначим нетрадиционные отношения символом r_i , где $i=1, 2, 3, \dots, 8$ соответствует номеру строки в таблице с набором свойств данного отношения. Это позволит избежать путаницы в названиях отношений при проведении их сравнительной характеристики.

Для устранения неясностей в употреблении названий свойств отношений отметим, что «положительные» свойства отношений рефлексивность, симметричность и транзитивность совпадают по смыслу в традиционной и применяемой нами классификации. Для обозначения вводимых нами противоречивых свойств использованы названия положительных свойств с приставкой «не». Это позволяет такие свойства легко отличать от традиционных, так как названия нерефлексивность, несимметричность и нетранзитивность в теории отношений не употребляются.

Рассмотрим несколько подробнее, в каком соотношении находятся традиционные свойства отношений (и соответствующие им понятия) и нетрадиционные. Оставляя на дальнейшее более строгий анализ свойств отношений всех указанных выше групп, в настоящем сообщении рассмотрим лишь ряд утверждений-ги-

потез относительно объема и содержания понятий, соответствующих свойствам отношений.

В примере, приведенном в начале сообщения, уже отмечалось, что введение понятия «нерефлексивность», противоречивого понятию «рефлексивность», позволяет учесть в классификации отношений и такие, которые не являются рефлексивными и антирефлексивными. Объем родового понятия «свойства групп рефлексивности» полностью исчерпывается объемами понятий «рефлексивность» и «нерефлексивность». С другой стороны, понятия «рефлексивность» и «антирефлексивность» не уточнены в такой степени, чтобы можно было однозначно ответить на вопрос о противоположности или противоречивости этих понятий.

Этот вопрос нельзя решать умозрительно. Его решение может исходить только из исследования природы самих соотносящихся объектов, которыми в данном случае являются рефлексивные и антирефлексивные отношения. Если бы имелись указания на то, что существуют отношения со свойствами, промежуточными между рефлексивностью и антирефлексивностью, то крайние по значению свойства можно было бы считать находящимися в отношении противоположности. В этом случае объем понятия «отношения, обладающие свойствами из группы свойств рефлексивности» не исчерпывается объемами понятий «рефлексивные и антирефлексивные отношения», но включает еще некоторые промежуточные отношения.

Если же указаний на существование таких промежуточных отношений нет, то это может означать одно из двух. Отношения с указанными промежуточными свойствами не существуют и тогда рефлексивность и антирефлексивность противоречивы, либо такие отношения существуют, но в них еще не было потребности в уточнении относительно противоположности рефлексивности и антирефлексивности еще не делалось. Мы предполагаем, что указанные отношения с промежуточными свойствами существуют, т. е. имеются отношения лишь «в некоторой степени» рефлексивные. Но для того чтобы последнее предположение перестало быть просто фразой, необходимы новые экспликации и самого свойства рефлексивность.

Выше мы уже останавливались на двух возможных трактовках рефлексивности. Именно первая из них является исходно удобной для введения градуального свойства рефлексивности.

Необходимо сделать несколько замечаний относительно использования приставок-отрицаний «не», «а» и «анти». Во многих случаях использование трех перечисленных приставок интуитивно. Особенно неопределенно использование приставки «не» с помощью которой осуществляют отрицания самого различного вида.

В конечном счете мы считаем целесообразным упорядочить употребление перечисленных отрицаний следующим образом. Отрицание «не» будем употреблять только для формирования на

званий отрицательных понятий, находящихся в отношении противоречия к исходным «положительным» понятиям. Например, выше таким образом были сформированы названия понятий нерефлексивность, несимметричность и нетранзитивность. Отрицание «анти» будем употреблять для образования названий понятий, противоположных исходным, «положительным». Например, антирефлексивность, антисимметричность и антитранзитивность. Отрицание «а» будем использовать для формирования отрицательных свойств (названий отрицательных свойств), промежуточных между исходным положительным и ему противоположным (антисвойством). Например, арефлексивность, асимметричность и атранзитивность.

Учитывая сказанное, считаем рациональным за традиционным названием «антирефлексивность» закрепить значение «быть противоположным рефлексивности». Однако необходимо помнить, что такой специальный смысл в понятие «антирефлексивность» (отношения) вкладывается лишь в нашей формирующей экспликации свойств отношений и не является общеупотребительным.

Приступая к сравнительному анализу свойств группы симметрии, напомним, что для традиционных отношений рассматриваются такие свойства как симметричность, асимметричность и антисимметричность [2, с. 39—40]. Во вводимой нами дихотомической классификации рассматриваются свойства симметричности и противоречивое ему свойство несимметричности. В матричной интерпретации отношений различительным признаком свойств асимметричности и антисимметричности (в традиционном понимании) является наличие ненулевых диагональных элементов у антисимметричных отношений и отсутствие таковых у асимметричного отношения. Но асимметричные и антисимметричные отношения появляются в традиционной классификации не потому, что соответствующие свойства являются различными в группе свойств симметрии. Эти разновидности отношений появляются из-за вариации свойств в группе свойств рефлексивности. Симметричность отношений безразлична к отсутствию или наличию диагональных элементов в интерпретирующей матрице. В традиционной классификации существует по крайней мере два типа симметричных отношений: симметричное рефлексивное и симметричное антирефлексивное.

Каждому из этих типов симметричных отношений можно поставить в соответствие отношения следующего вида: симметричному рефлексивному отношению — антисимметричное отношение, симметричному антирефлексивному — асимметричное. В нашей экспликации традиционные свойства асимметричность и антисимметричность следовало бы отнести к одному и тому же нерефлексивному типу, так как каждому из свойств присущ важнейший признак — отсутствие второй пары, например, обратной, если существует прямая пара на подмножестве пар данного от-

ношения. Здесь варьируется признак совсем другой группы свойств рефлексивности.

Введение трех названий свойств группы свойств симметрии в традиционной классификации вызывает неправильные ассоциации о трехградационной природе свойства симметрии, в то время как фактически это свойство является двухградационным. При первом знакомстве с обычной классификацией отношений возникает представление, что свойства группы рефлексивности и группы транзитивности двухградационны (рефлексивность — антирефлексивность, транзитивность — антитранзитивность), а свойства группы симметричности — трехградационны. Нарушается и важный признак правильной классификации, требующий независимости свойств-оснований деления, так как свойства ассиметричности и антисимметричности ставятся в зависимость от свойства рефлексивности.

Закончим сравнительный анализ характеристикой свойств отношений из группы свойств транзитивности. Свойство транзитивности гарантирует наличие непосредственной связи в любой тройке попарно соотносящихся элементов. Свойство антитранзитивности запрещает существование промежуточных связей двух элементов через третий, если два элемента уже связаны непосредственной связью.

Однако помимо непосредственных связей всех элементов со всеми в транзитивных отношениях могут существовать связи всех элементов со всеми только на ограниченных подмножествах элементов из множества, находящихся в данном отношении. Примерами таких отношений могут служить специальные случаи отношения сходства, для которых свойство, близкое по смыслу к транзитивности, выполняется только для ограниченного числа элементов из всех, находящихся в отношении сходства. Такие отношения можно было бы рассматривать как обладающие свойством, промежуточным между транзитивностью и антитранзитивностью. Это дало бы основание предполагать, что традиционные свойства транзитивность и антитранзитивность являются противоположными, а не противоречивыми, так как такие противоположные свойства допускают свойства промежуточного типа. Окончательный вывод об особенностях свойств группы свойств транзитивности может быть сделан только после детального анализа содержания и объема понятий транзитивное и антитранзитивное отношение.

Кратко резюмируя основные результаты, изложенные в настоящем сообщении, отметим, что при обычной экспликации всех свойств отношений еще не достигнут такой уровень уточнения объема и содержания соответствующих понятий, чтобы можно было категорически утверждать, является или нет традиционная классификация дихотомической. Предложенная нами дихотомическая система отношений еще должна быть соотнесена со всем множеством известных отношений. Такая система отно-

лений позволяет сделать лишь первый формальный шаг в сторону создания классификации, охватывающей и отношения, которые обычно выпадают из традиционной системы отношений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. М., «Наука», 1975. 172 с.
Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М., «Наука», 1971. 255 с.

Поступила 10 апреля 1976 г.

УДК 62.506.2

Е. А. СОЛОВЬЕВА

ОБЩИЙ КЛАССИФИКАТОР ЛИЧНЫХ ФОРМ С УЧЕТОМ ОМОГРАФИИ

Целью настоящей статьи является математическое описание функции f_z , которую грамотный человек (руководствующийся правилами грамматики [1, 2]) реализует в процессе морфологической классификации личных глагольных форм русского языка по признакам всех собственно грамматических категорий. Так, f_z (читаю) = z_1 , f_z (сидишь) = z_2 и т. д., где z_i ($i = 1, 17$) характеризуют классы эквивалентности (формальные классы S_z личных форм по признаку $Z = \langle M, T, N, L, G \rangle$, т. е. по признакам M (признак категории наклонения), T (времени), N (числа), L (лица) и G (рода) одновременно.

Функция f_z , как и многие другие, — проявление универсальной морфологической функции грамматической обработки слов. Описание f_z вносит вклад в описание морфологической функции.

Постановка задач сформулирована ранее [3, 4], функция $f_z = \langle F_z, X, Y_z \rangle$, названная общим классификатором личных форм, введена в работе [3] (индекс f опускаем). Область определения X составляют синтетические личные формы глаголов русского языка; область значений $Y_z = \{z_1, \dots, z_{17}\}$ — признаки классов эквивалентности в разбиении $\sigma_z = \{S_{z_1}, \dots, S_{z_{17}}\}$ множества X по признаку Z .

Выразим формальные классы $S_{z_1} - S_{z_{17}}$ через классы эквивалентности в разбиениях $\sigma_M, \sigma_T, \sigma_N, \sigma_L$ и σ_G множества X по каждому из рассматриваемых признаков в отдельности:

$$S_{z_1} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_1} \cap S_{L_1} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_2} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_1} \cap S_{L_2} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_3} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_1} \cap S_{L_3} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_4} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_2} \cap S_{L_1} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_5} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_2} \cap S_{L_2} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_6} = S_{M_1} \cap S_{T_1} \cap S_{N_2} \cap S_{L_3} \cap S_{G_1},$$

$$S_{z_7} = S_{M_1} \cap S_{T_2} \cap S_{N_1} \cap S_{L_1} \cap S_{G_1},$$

$$\begin{aligned}
S_{Z_8} &= S_{M_1} \cap S_{T_2} \cap S_{N_1} \cap S_{L_4} \cap S_{G_2}, \\
S_{Z_9} &= S_{M_1} \cap S_{T_2} \cap S_{N_1} \cap S_{L_4} \cap S_{G_3}, \\
S_{Z_{10}} &= S_{M_1} \cap S_{T_2} \cap S_{N_2} \cap S_{L_4} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{11}} &= S_{M_2} \cap S_{T_3} \cap S_{N_1} \cap S_{L_2} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{12}} &= S_{M_2} \cap S_{T_3} \cap S_{N_2} \cap S_{L_1} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{13}} &= S_{M_2} \cap S_{T_3} \cap S_{N_2} \cap S_{L_2} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{14}} &= S_{M_2} \cap S_{T_4} \cap S_{N_1} \cap S_{L_2} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{15}} &= S_{M_3} \cap S_{T_4} \cap S_{N_1} \cap S_{L_5} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{16}} &= S_{M_3} \cap S_{T_4} \cap S_{N_2} \cap S_{L_2} \cap S_{G_4}, \\
S_{Z_{17}} &= S_{M_3} \cap S_{T_5} \cap S_{N_3} \cap S_{L_6} \cap S_{G_4}.
\end{aligned}$$

Формальные категории $\sigma_M = \{S_{M_1}, S_{M_2}, S_{M_3}\}$, $\sigma_T = \{S_{T_1}, \dots, S_{T_5}\}$, $\sigma_N = \{S_{N_1}, S_{N_2}, S_{N_3}\}$ и $\sigma_L = \{S_{L_1}, \dots, S_{L_6}\}$ эксплицируют соответственно грамматические категории

$$\begin{aligned}
\sigma'_M &= \{S'_{M_1}, S'_{M_2}\}, \quad \sigma'_T = \{S'_{T_1}, S'_{T_2}, S'_{T_3}\}, \quad \sigma'_N = \{S'_{N_1}, S'_{N_2}\} \\
\text{и } \sigma'_L &= \{S'_{L_1}, \dots, S'_{L_6}\} \text{ [5], где } S_{M_1} = S'_{M_1} \setminus S'_{M_2}, S_{M_2} = \\
&= S'_{M_2} \setminus S'_{M_1}, S_{M_3} = S'_{M_1} \cap S'_{M_2}, S_{T_1} = S'_{T_1} \setminus S'_{T_2}, S_{T_2} = S'_{T_2} \setminus S'_{T_3}, \\
S_{T_3} &= S'_{T_3} \setminus (S'_{T_1} \cup S'_{T_2}), S_{T_4} = S'_{T_1} \cap S'_{T_2}, S_{T_5} = S'_{T_2} \cap S'_{T_3}, S_{N_1} = \\
&= S'_{N_1} \setminus S'_{N_2}, S_{N_2} = S'_{N_2} \setminus S'_{N_1}, S_{N_3} = S'_{N_1} \cap S'_{N_2}, S_{L_1} = S'_{L_1} \setminus S'_{L_2}, S_{L_2} = \\
&= S'_{L_2} \setminus (S'_{L_1} \cup S'_{L_3}), S_{L_3} = S'_{L_3}, S_{L_4} = S'_{L_1} \setminus S'_{L_2}, S_{L_5} = S'_{L_1} \cap S'_{L_2}, \\
S_{L_6} &= S'_{L_2} \cap S'_{L_3}.
\end{aligned}$$

Категория рода $\sigma_G = \sigma'_G = \{S_{G_1}, \dots, S_{G_4}\}$. Признаки грамматических значений описаны в табл. 1.

График $F_Z \subset X \times Y_2$ функции f_Z можно представить в виде [6]

$$F_Z = \varepsilon \{ \langle x, y \rangle K_Z(x, y) \},$$

где $K_Z(x, y)$ — двухместная высказывательная форма. Если $\langle x, y \rangle \in F_Z$, то при подстановке такой пары в $K_Z(x, y)$ получится истинное высказывание. Удобный способ описания $K_2(x, y)$ разработан нами ранее [3, 5].

Переобозначим выражения, наиболее часто встречающиеся в записи $K(x, y)$: $P(x) \cap P_{A_i} \neq \emptyset$ обозначим через $A_i(x)$; $P(x) \cap P_{A_i} = \emptyset$ — через $\bar{A}_i(x)$; $P_d(x) \cap P_{D_j} \neq \emptyset$ — через $D_j(x)$, $P_d(x) \cap P_{D_j} = \emptyset$ — через $\bar{D}_j(x)$.

Признак	Грамматический смысл признака
M'_1	Изъявительное наклонение
M'_2	Повелительное наклонение
T'_1	Непрошедшее время
T'_2	Прошедшее время
T'_3	Нет времени
N'_1	Единственное число
N'_2	Множественное число
L'_1	1-е лицо
L'_2	2-лицо
L'_3	3-лицо
L'_4	Нет лица
G'_1	Мужской род
G'_2	Женский род
G'_3	Средний род
G'_4	Нет рода

$\cap P_{D_j} = \emptyset$ — через $\bar{D}_j(x)$; $y = y_k$ — через $R_k(x)$. Для дальнейшего сокращения записи заменим $A_i(x)$, $A_i(x)$, $D_j(x)$, $\bar{D}_j(x)$, $R_k(y)$ на A_i , A_i , D_j , D_j , R_k соответственно. Состав множеств формальных признаков P_{A_i} и P_{D_j} , который при необходимости может быть ограничен или дополнен без изменения структуры $K_2(x, y)$, определяется в результате исследований или использования имеющихся данных грамматики и работ в области автоматического анализа.

Грамматика [1, 2 и др.] не содержит данных о том, как формально различать омографию словоформ, и многих других нужных сведений. Поэтому для построения алгоритмов автоматического анализа «сначала должна быть проделана весьма трудоемкая лингвистическая работа по формализованному описанию языков» [7, с. 12]. В известных литературных источниках также нет сведений по разбору омографии, но указывается, например, в [8], на важность (а также сложность) получения таких данных. Поэтому был произведен автоматический разбор всех случаев омографии личных глагольных форм [9], необходимый для описания $K_Z(x, y)$.

В результате проведенных исследований процессов морфологической классификации установлено, что

$$K_Z(x, y) = \bigwedge_{i=1}^{i=13} (A_i \Rightarrow R_i) \wedge (A_{14} \wedge \bar{A}_{15} \Rightarrow R_7) \wedge (A_{16} \wedge A_{10} \Rightarrow$$

i	P_{A_i}
1	2
1	у, ю, дам
2	ишь
3	есть, ет, ит, ст
4	им
5	ете
6	суть, ут, ют, ат, ят
7	л, з, с, б, п, р, к, х
8	ла
9	ло
10	скорбели
11	$P_{A_{17}}, UP_{A_{18}}$
12	ем, им, мте, ем-ка, им-ка, ите-ка
13	йте, ьте, йте-ка, ьте-ка, ите-ка
14	г
15	ляг
16	бели
17	барахли, боли, весели, вызволи, вызоли, выпяли, вытрали, дли, кабали, кайли, коли, кругли, моли, поли, пыли, рули, сверли, светли, скобли, скули, соли, стрели, сули, сусли, тепли, тяжели, утоли, холи, цели, числи, определи, стели
18	й, й-ка, ь-ка, би, ви, ги, ди, жи, зи, ки, й-ка, ми, ни, пи, ри, си, ти, фи, чи, ши, щи, завись, обезопась, гундось, тулумбась, чудесь, торось, весь, высь, брось, квась, крась, ляг
19	ли
20	ешь
21	усь
22	ем
23	ите

1	P_{D_j}
1	2
1	ем, вѐмся, вѣ́мся, выем, доем, заем, изѣ́ем, наем, надоем, недоем, объѣ́ем, отѣ́ем, переем, подѣ́ем, поем, прие́мся, проем, разѣ́ем, съем, уем
2	вали, вва́ли, взва́ли, выва́ли, зава́ли, нава́ли, обва́ли, отва́ли, перева́ли, прива́ли, пова́ли, подва́ли, прова́ли, разва́ли, сва́ли, ува́ли, откры́ли, достекли, застекли, недостекли, остекли, перестекли, окисли, выдели́, додели́, недодели́, обдели́, отдели́, передели́, поде́ли, уде́ли, изме́ли, обмелись, перемелись, размелись, сме́лись, воспа́лись, опа́лись, распа́ли, пи́лись, выпи́лись, напи́ли, надпи́ли, распи́лись, шли́сь, разо́шли, ниспо́шли, те́лись, оте́лись, выка́ли, дока́ли, зака́ли, нака́ли, обка́ли, перека́ли, подка́ли, прока́ли, раска́ли, до́шались, за́шали, на́шали, по́шали, расша́лись, ума́ли
3	струсь, перетрусь
4	потешь, тешь, утешь
5	$\bigcup_{i=2}^{i=4} P_{D_i}$
6	пишите, тяните, ...
7	ешь, вѣ́шься, вѣ́шься, вые́шь, дое́шь, зае́шь, изе́шь, нае́шь, надое́шь, недое́шь, объе́шь, оте́шь, перее́шь, поде́шь, пое́шь, прие́шься, прое́шь, разе́шь, съе́шь, уе́шь
8	трусь, вытрусь
9	сидите, ходите, ...
10	вымы́ли, ве́ли, пове́ли, стекли, кисли, пере́кисли, раскисли, де́ли, на́дели, оде́ли, разде́ли, выме́ли, доме́ли, заме́ли, наме́ли, обме́ли, отме́ли, пере́мели, приме́ли, подме́ли, поме́ли, проме́ли, разме́ли, сме́ли, па́ли, выпа́ли, за́пали, опа́ли, пере́пали, припа́ли, подпа́ли, по́пали, про́пали, распа́лись, спа́ли, пи́ли, выпи́ли, допи́ли, запи́ли, испи́ли, опи́ли, отпи́ли, пере́пили, подпи́ли, попи́ли, пропи́ли, распи́ли, шли́, вы́шли, до́шли, за́шли, на́шли, ото́шли, пере́шли, при́шли, по́шли, подо́шли, со́шли, у́шли

$$\begin{aligned} \Rightarrow R_{11}) \wedge (D_1 \Rightarrow R_1) \wedge (D_5 \Rightarrow R_{11}) \wedge (\bigwedge_{i=6}^{i=10} D_j \Rightarrow R_{j+7}) \wedge (A_{19} \wedge \bar{A}_{17} \\ \wedge \bar{D}_2 \wedge \bar{D}_{10} \Rightarrow R_{10}) \wedge (A_{20} \wedge \bar{D}_4 \wedge \bar{D}_7 \Rightarrow R_2) \wedge (A_{21} \wedge \bar{D}_3 \\ \wedge \bar{D}_8 \Rightarrow R_1) \wedge (A_{22} \wedge D_1 \Rightarrow \bar{R}_4) \wedge (A_{23} \wedge \bar{D}_6 \wedge \bar{D}_9 \Rightarrow R_5). \end{aligned}$$

Множества формальных признаков P_{A_i} ($i = 1, 2, 3$) и P_{D_j} ($j = 1, 10$) приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Знак $\sim$ введен для упрощения записи. Он означает, что имеется в виду не только приведенный в таблице признак, но и полученный из него приписыванием подстифкса *ся* (*сь*) за буквой, отмеченной сверху волнистой чертой. Например, $P_{A_1} = \{ у, ю, юсь, дам, дамся \}$. Множества P_{D_4} и P_{D_9} не даны здесь полностью, так как число их элементов сравнительно велико. Большая часть глаголов из P_{D_4} и P_{D_9} в рассматриваемых формах малоупотребительна, поэтому в модификации f_z^4 предложенной модели эти множества составлены на основании частотного словаря [10]. Знак ударения, позволяющий в ряде случаев (например, в некоторых формах на *ли*) упростить классификацию, не использовался, так как в реальных текстах он обычно отсутствует.

При подстановке пары $\langle \text{читаю}, z_1 \rangle$ в форму $K_z(x, y)$ получим истинное высказывание, т. е. $K_z(\text{читаю}, z_1) = 1$, значит $\langle \text{читаю}, z_1 \rangle \in F_z$. Кроме того, пары $\langle \text{читаю}, z_i \rangle$ при $i = 2, 17$ обратят $K_z(x, y)$ в 0, следовательно, $f_z(\text{сидишь}) = z_1$. Аналогично определим, что $f_z(\text{читаем}) = z_2$, $f_z(\text{ходим}) = z_{10}$, $f_z(\text{вели}) = z_{17}$ и т. д.

Общий классификатор f_z строился таким образом, чтобы безошибочно обрабатывать синтетические личные формы глаголов из словаря [10] на 104 тыс. слов. Наибольшие трудности при моделировании рассматриваемого процесса классификации связаны с автоматическим разбором полного и частичного совпадения словоформ, особенно форм на *ли*. Для разрешения омографии проведены эксперименты с человеком на словах и псевдословах [5], тщательный формальный анализ форм глаголов из словаря [11].

Отметим лишь словоформу *поем* (*поем* от *поесть* и *поём* от *петь*), которая будет омографичной, если не различать буквы *е* и *ё*, как это делается в реальных текстах. При различении *е* и *ё* в множество P_{A_3} необходимо включить *ёт*, а в P_{A_4} — *ём* (при этом формы *поем* и *поём* будут классифицироваться верно), в противном случае для безошибочного действия модели на форме *поем* необходимо ввести для этой формы класс $S_{M_{18}} = S_{M_1} \cap \cap S_{T_1} \cap S_{N_2} \cap S_{L_1} \cap S_{G_4}$ и соответствующим образом изменить $K_z(x, y)$. При практическом действии модели вопрос может быть решен в зависимости от конкретных требований.

Таким образом, на основании предложенной методики разработана универсальная модель f_z , учитывающая все случаи омографии [8] и использующая минимально необходимую информацию о формальной структуре слова. Предложен ряд модификаций модели f_z , в частности простые и универсальные модели [3] классификации личных форм по признаку Z без учета омографии. Анализаторы (модели, не учитывающие омографию) описывают функции, приближенные к тем, которые человек реализует на уровне контекста (словоформе ставятся в соответствие наборы признаков из табл. 1). Эти модели обладают высокими вероятностными оценками [3 и др.], так как основаны на данных статистического анализа текстов.

Классификатор f_z представлен в виде алгоритма [3] на языке граф-схем, все разработанные модели (частные и общие) и их модификации также описаны в виде алгоритмов. Алгоритмы реализованы на ЭЦВМ «Урал-14Д» с помощью транслятора АЛГОЛ-ЦЭМИ, удобного для обработки словесформ. Одна из модификаций модели f_z и ряд других моделей приняты в Республиканский фонд алгоритмов и программ. Доведение моделей до уровня действующих позволяет использовать их на практике.

Общий классификатор личных форм вошел в комплекс алгоритмов и программ для подсистемы автоматического анализа автоматизированной системы лингвистической обработки документов. Модель f_z может представить и самостоятельный интерес, как математическое описание некоторой психической функции человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грамматика современного русского литературного языка. Отв. ред. Шведова Н. Ю. М., «Наука», 1970. 767 с.
2. Грамматика русского языка. Т. I. Ред. коллегия: акад. Виноградов В. В. и др. М., Изд-во АН СССР, 1960. 719 с.
3. Соловьева Е. А. Моделирование процессов морфологической классификации с учетом омографии. — В кн.: Проблемы билингвистики. Вып. 17, Харьков, 1976, с. 126—134.
4. Соловьева Е. А. Анализатор и классификатор личных форм по наклонению и их исследование. — В кн.: Проблемы билингвистики. Вып. 17, Харьков, 1976, с. 118—126.
5. Соловьева Е. А. К вопросу о построении общего алгоритма морфологической классификации глагольных форм русского языка. — В кн.: Проблемы билингвистики. Вып. 15, Харьков, 1975, с. 143—149.
6. Шиханович Ю. А. Введение в современную математику. М., «Наука», 1965. 376 с.
7. Кулагина О. С., Мельчук И. А. Автоматический перевод: краткая история, современное состояние, возможные перспективы. — В кн.: Автоматический перевод. М., «Прогресс», 1971, с. 395.
8. Мельчук И. А. Морфологический анализ при машинном переводе (преимущественно на материале русского языка). — В кн.: Проблемы кибернетики. Вып. 6, М., Физматгиз, 1961, с. 207—276.
9. Соловьева Е. А. Исследование процессов классификации омографичных глагольных форм. — В кн.: Проблемы билингвистики. Вып. 16, Харьков, 1976, с. 104—114.

10. Штейфельдт Э. А. Частотный словарь современного русского литературного языка. Таллич, 1963. 316 с.
11. Орфографический словарь русского языка (около 104 тыс. слов). Изд. 2-е. Редактор Бархударов Ф. Г. и др. М., «Сов. энциклопедия», 1971. 520 с.
- Поступила 20 мая 1976 г.

УДК 62.506.2

А. И. ЧУГУН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГЛАГОЛЬНЫХ ФОРМ РУССКОГО ЯЗЫКА ПО ТИПАМ СПРЯЖЕНИЯ

Моделирование процессов образования различных форм одного и того же слова по его словарной форме является одним из важнейших этапов исследования способностей человека решать задачи морфологической классификации. Как правило, справочные пособия, за исключением случаев особо сложных образований, указывают только словарную (нормализованную) форму слова той или иной части речи, поэтому моделирование процессов формообразования словоформ по их нормализованным представителям представляет и практический интерес.

Для грамотного человека задачи подобного класса не вызывают затруднения и решаются им на основании опыта, накопленного при обучении речи, и знаний неформальных правил традиционной грамматики. Опыт моделирования речевого поведения человека при решении задач морфологической классификации [1, 2] показывает, что автоматический анализ и синтез морфологических цепочек требуют формализованного подхода к их решению, т. е. создание действующей модели решения задачи формообразования слов предполагает описание функций, реализуемых человеком, в виде системы формальных правил.

Анализируя словарные формы любой части речи, нетрудно заметить, что решение задачи формообразования (словоизменения) подразделяется на два последовательных этапа: 1-й этап — распределение нормализованных словоформ по типам словоизменения; 2-й этап — определение системы формальных правил собственно процесса словоизменения. Целью данной работы является выявление системы формальных правил (признаков) процесса распределения словарных форм по типам словоизменения на примере инфинитива невозвратных глаголов русского языка и построение алгоритма их автоматической классификации, эквивалентного этой системе.

Имеется множество A , включающее в себя все невозвратные глаголы русского языка в форме инфинитива. Учитывая динамический характер языка (на время решения поставленной задачи), зафиксируем его развитие с помощью словаря [3]. Тогда можно характеризовать множество A как конечное множество, мощность которого определяется количеством элементов, входящих в него [4] (количеством словоформ, зафиксированным в словаре).

Каждый элемент этого множества $x_i \in A$ представляет собой одну словоформу и $\bigcup_{i=1}^n x_i = A$ (n — мощность множества A). Из грамматики [5] известно, что в систему словоизменения (спряжения) глагола входят изменения по наклонениям, временам, числам, лицам и родам. Спрягая элементы x_i по этим грамматическим категориям, получим конечное множество B — множество словоформ личных форм глаголов (здесь и далее под термином «глагол» подразумеваются невозвратные глаголы). Элементы $x_j \in B$ ($\bigcup_{j=1}^m x_j = B$) представляют собой так же отдельные словоформы, т. е. во множество B не входят частицы *бы, пусть, да* и т. п.

Используя эти свойства элементов x_i и принцип сочетаемости грамматических категорий для глаголов, известный из грамматики, априори можно заявить, что каждый элемент $x_i \in A$ при спряжении будет порождать 12 элементов $x_j \in B$. Объединение множеств $A \cup B = M$ — определяет множество всех глаголов русского языка в форме инфинитива и личных спрягаемых форм, $M = \{x: x \in A \text{ или } x \in B\}$ и $\bigcup_{k=1}^l x_k = M$ ($l = n + m$ — мощность множества M). Элементы $x_k \in M$ можно объединить по признаку лексического значения. Тогда данное множество разобьется на подмножества N_i ($\bigcup_{i=1}^n N_i = M$), представляющие собой отдельные парадигмы соответствующих основ глаголов.

Отсюда можно заметить, что $M \sim A$, так как между элементами этих множеств существует взаимно однозначное соответствие ($x_i \rightarrow N_i$). Каждое подмножество N_i состоит из 13 элементов $x_k \in N_i$ ($N_i \subset M$).

В процессе анализа подмножеств N_i было получено, что элементы $x_k \in N_i$ имеют один общий отличительный признак, характерный для данного подмножества, и индивидуальные признаки, присущие каждому отдельному элементу этого же подмножества. Общий признак назовем базой парадигмы, а индивидуальные — системой окончаний парадигмы. База парадигмы это часть словоформы, не изменяемая в процессе спряжения, а саму парадигму можно определить как совокупность словоформ, характеризующуюся одной базой и определенной системой окончаний.

Следует отметить, что между понятиями базы парадигмы, системы окончаний парадигмы и основой и окончаниями словоформ при делении ее на морфемы имеется существенное различие. Так, традиционная грамматика для системы глаголов в форме инфинитива и личных спрягаемых форм рассматривают два типа основ (хотя в большинстве случаев они совпадают) — основу инфинитива и прошедшего времени, изъявительного наклоне-

ния и основу личных форм непршедшего времени и форм повелительного наклонения. Например, для слова *братъ* имеются основы *бра-* и *бер-*, а слово *бегать* — имеют одну основу для всех форм — *бег-*, тогда как база парадигмы слова *братъ* (*братъ, беру, берешь, берет, берем, берете, берут, брал, брала, брало, брали, бери, берите*) будет представлена неизменяемой частью словоформы и состоять из одной буквы *б-*, остальные части словоформ образуют систему окончаний парадигмы (*-рать, -еру, -ерешь, -ерет, -ерем, -ерете, -ерут, -рал, -рала, -рало, -рали, -ери, -ерите*). Такое деление словоформ предполагает, что все элементы множества *M* относятся только к флексивным классам слов [6].

Если база парадигмы служит отличительным признаком подмножеств N_i , то многие из них характеризуются и общим признаком, в качестве которого выступает система окончаний парадигмы. По этому признаку все множество подмножеств N_i разбиваем на классы T_c . Каждый из этих классов будет характеризоваться одной, только ему присущей, системой окончаний парадигмы. Классы будем называть типами словоизменения или, по аналогии с традиционной грамматикой, типами спряжения.

Предварительный анализ элементов $x_i \in A$ показал, что классификацию их по типам спряжения можно проводить, основываясь на формальные признаки, заложенные в самой нормализованной словоформе. Для классификации инфинитива в качестве таких признаков были использованы: окончания словоформ; буква или буквосочетание, стоящие перед окончанием; место ударения в словоформе (ударение падает на основу или на окончание). В результате экспериментов получено, что все множество подмножеств N_i разбивается на 124 типа спряжения. Из них первые 24 включают в себя все продуктивные глаголы, а по остальным распределяются непродуктивные глаголы русского языка. Окончания, которые нужно отбрасывать от инфинитива в соответствующем типе спряжения для выделения из этой формы базы парадигма и номера типов спряжения, представлены в таблице.

Присвоение номеров типов спряжения осуществляется произвольно и зависит только от порядка окончаний, имеющих в инфинитиве. В нашем случае окончания проверяются последовательно в следующем порядке: *-ать, -ять, -еть, -уть, -оть, -ить, -сть, -зть, -иь, -чь, -тъ* (по продуктивным глаголам).

Алгоритм автоматической классификации невозвратных глаголов по типам спряжения состоит из 11 блоков. Каждый блок настроен на проверку одного из окончаний, приведенных выше, и представляет собой набор процедур, которые в своей работе используют формальные признаки, выявленные при классификации инфинитива. В качестве основных формальных процедур для построения алгоритма выбраны: проверка окончания словоформы на совпадение с эталонным окончанием; проверка буквы перед окончанием; проверка буквосочетания перед окончанием

Тип спряжения	Оконча- ние ин- финити- ва	Тип спря- жения	Оконча- ние ин- финит.	Тип спря- жения	Оконча- ние ин- финити- ва	Тип спря- жения	Оконча- ние ин- финити- ва	Тип спря- жения	Оконча- ние ин- финит.
1	ть	26	вать	51	хатъ	76	еть	101	чь
2	овать	27	вать	52	татъ	77	нутъ	102	ечь
3	евать	28	ать	53	татъ	78	нутъ	103	жечь
4	евать	29	ать	54	татъ	79	нутъ	104	чь
5	ять	30	ать	55	статъ	80	нутъ	105	ечь
6	уть	31	ать	56	тъ	81	олоть	106	чь
7	уть	32	ать	57	зять	82	оть	107	чь
8	ить	33	ать	58	зять	83	ыть	108	чь
9	ить	34	жать	59	ять	84	тъ	109	очь
10	ить	35	гать	60	ять	85	ыть	110	чь
11	ить	36	гать	61	мять	86	сть	111	идти
12	ить	37	дать	62	ять	87	сть	112	ти
13	дить	38	тъ	63	нять	88	тъ	113	ти
14	дить	39	дать	64	нять	89	сть	114	йти
15	зить	40	кать	65	зять	90	есть	115	асти
16	зить	41	кать	66	деть	91	есть	116	сти
17	стиль	42	скать	67	еть	92	есть	117	сти
18	ить	43	ать	68	еть	93	сть	118	сти
19	тить	44	рать	69	еть	94	тъ	119	бить
20	тить	45	нать	70	теть	95	тъ	120	вить
21	сить	46	слать	71	стеть	96	ить	121	пить
22	сить	47	ласть	72	теть	97	ить	122	шить
23	ить	48	ать	73	среть	98	лить	123	зать
24	ить	49	сать	74	еть	99	ить	124	ять
25	ать	50	хатъ	75	сеть	100	тить		

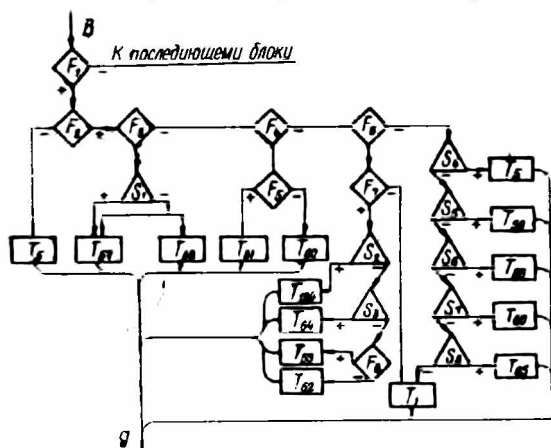
или буквой, стоящей перед окончанием; проверка местоположения ударения в словоформе; присвоение номера типа спряжения; отбрасывание соответствующего окончания.

Проверка работы алгоритма показала, что входное множество A содержит 275 словоформ, обладающих формальными признаками того или иного типа спряжения, но не принадлежащих этим типам спряжения. Эти словоформы составляют $\approx 1\%$ от входного множества, выделены в отдельные словари и дополнены процедурами для их классификации являются: проверка словоформ, поступающей на вход, на полное совпадение со словарем-эталоном; отбрасывание части словоформы, совпавшей со словарем; проверка оставшейся части словоформы на совпадение с набором приставок. Для алгоритма составлены 97 словарей-эталонов, 57 из которых состоят из одной словоформы, 27 — из 2-х ÷ 5-и, 10 — из 6-и ÷ 10-и и 3 с количеством словоформ в каждом, превышающем 10. Максимальная длина одного из словарей — 25 словоформ. Словари-эталоны распределены соответствующим образом по блокам алгоритма.

Привести в данной статье всю блок-схему алгоритма не представляется возможным из-за ее разветвленности. Поэтому для иллюстрации его работы на рисунке показана блок-схема только

одного из 11 блоков; а именно блока автоматической классификации по типам спряжения глаголов, оканчивающихся в инфинитиве на *-ять*.

Из рисунка видно, что алгоритм состоит из элементарных блоков — распознавателей и операторов. Распознаватели F_i и S_j — логические блоки, которые проверяют наличие у словоформы, по



ступающей на вход B того или иного формального признака. Операторы T_k присваивают словоформе номер типа спряжения и согласно этому номеру отбрасывают окончание, помещенное в таблицу, и подают на выход g — номер типа спряжения, базу парадигмы и окончание в инфинитиве.

Распознаватели F_i , в порядке расположения их в блок-схеме, проверяют в словоформе, поступающей на вход, следующие формальные признаки: F_1 — сравнивает окончание словоформы с эталонным окончанием (*-ять*); F_2 — проверяет место ударения в словоформе; F_3 — проверяет первую букву перед окончанием на совпадение с (*-ь*); F_4 — проверяет первую букву перед окончанием на совпадение с (*-М-*); F_5 — проверяет вторую букву перед окончанием на совпадение с гласными; F_6 — проверяет первую букву перед окончанием на совпадение с (*-Н-*); F_7 — проверяет часть слова перед буквой (*-Н-*) на совпадение с приставкой; $F_8 = F_5$, а S_j сравнивает словоформу со словарями-эталонами: S_1 — *изъять*; S_2 — *внять*; S_3 — *принять*; S_4 — *осмеять*; S_5 — *стоять*; S_6 — *застрять*; S_7 — *распать*; S_8 — *взять*. Этот блок классифицирует все без исключения глаголы с окончанием *-ять* в инфинитиве. Словоформы, не содержащие признака инфинитива, подаются со входа на выход с пометкой: «Не инфинитив невозвратных глаголов».

Решение задачи автоматической классификации глаголов по типам спряжения позволяет выделить базу любой парадигмы по

ее метке (словарной форме) и результаты работы можно применить на практике для построения алгоритма синтеза личных форм глаголов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьева Е. А. К вопросу о построении общего алгоритма морфологической классификации глагольных форм русского языка. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 15, Харьков, 1975, с. 143—149.
2. Бондаренко М. Ф., Осыка А. Ф. Об одном алгоритме склонения числительных русского языка. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 15, Харьков, 1975, с. 153—158.
3. Орфографический словарь русского языка. Изд. 12-е, М., «Сов. энциклопедия», 1973. 520 с.
4. Кон П. Универсальная алгебра. М., «Мир», 1968. 351 с..
5. Грамматика русского языка. Т. I, М., Изд-во АН СССР. 1960. 719 с.
6. Белоногов Г. Г., Богатырев В. И. Автоматизированные информационные системы. М., «Сов. радио», 1973. 250 с.

Поступила 10 апреля 1976 г.

УДК 614.1:313.13

И. Д. ПОНОМАРЕВА

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОГРАММ, ЗАДАНЫХ УНИТАРНЫМИ КОДАМИ

Ряд исследований последних лет показал, что спектральный анализ электрограмм является одним из наиболее значимых показателей функционального состояния различных образований. Поэтому корреляционные и спектральные методы находят все более обширное применение [1, 2, 3].

Корреляционная функция и спектр замерений содержат большую информацию о внутренней статистической структуре процесса, при этом важными показателями являются форма корреляционной функции, характер ее производных и ряд других особенностей [3].

Однако на практике корреляционный анализ часто используют для выделения периодической составляющей и оценки мощностей доминирующих ритмов. В связи с этим в некоторых случаях используют упрощенные методы: метод полярно-корреляционного языка, где вместо обычной корреляционной функции

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) f(t + \tau) dt$$

подсчитывается функция

$$R^*(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \operatorname{sgn} |f(t)| \operatorname{sgn} |f(t + \tau)| dt,$$

а также методы обработки электрограмм во временных интервалах: гистограммы временных интервалов между точками перехода электрограммы через нуль и между экстремальными точками [4], а также ряд других алгоритмов.

В настоящей работе рассматривается применение дискретных алгоритмов обработки импульсных последовательностей для анализа электрограмм мозга (ЭЭГ), преобразованных в унитарный (время-импульсный) код.

При таком подходе непрерывная электрограмма рассматривается как последовательность импульсов

$$f(t) = \sum_{k=1}^N \delta(t - t_k),$$

где

$$\delta(t - t_k) = \begin{cases} 0 & t \neq t_k \\ \infty & t = t_k \end{cases} \quad (1)$$

$$\int \delta(t - t_k) dt = 1,$$

t_k — момент возникновения импульса.

Стандартными импульсами кодируются только экстремальные моменты электрограмм. Естественно, что при таком подходе амплитуды экстремумов не учитываются. К электрограмме, дискретизированной таким образом, могут быть применены различные алгоритмы обработки дискретных последовательностей. Рассмотрим следующие из них:

- 1) построение функции автоинтенсивности;
- 2) построение гистограмм межимпульсных интервалов (МИИ);
- 3) построение гистограмм временных интервалов второго порядка.

Автокорреляционная функция импульсного процесса (1) определяется формулой

$$\varphi_{ff} = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \delta(t_k - t_l - \tau), \quad (2)$$

где t_k и t_l — моменты возникновения импульсов.

Перепишем формулу (2) в виде

$$\varphi_{ff} = N\delta(\tau) + \sum_{k=2}^N \delta(t_k - t_{k-1} - \tau) + \sum_{k=3}^N \delta(t_k - t_{k-2} - \tau) + \dots \quad (3)$$

Первый член (3) $N\delta(\tau)$ дает оценку функции автоинтенсивности при нулевом сдвиге, характеризует средний уровень импульсации, а следовательно, и среднюю энергетическую мощность, приходящуюся на каждый ритм в отдельности.

Второй член есть гистограмма МИИ, третий — гистограмма временных интервалов второго порядка. Все последующие члены — интервальные гистограммы более высокого порядка.

Каждая точка графика функции автоинтенсивности для дискретизированной электрограммы определяет вероятность наличия заданного интервала между двумя последовательными экстремумами либо между некоторым их числом.

Наличие периодической составляющей в функции автоинтенсивности соответствует ритмичному процессу в электрограмме (периодической составляющей).

Частота периодической составляющей может быть определена по формуле

$$f_n = \frac{1}{2\Delta t_{cp}}, \quad (4)$$

где Δt_{cp} — усредненный интервал между последовательными максимумами в функции автоинтенсивности.

Гистограмма временных интервалов между последовательными экстремумами $S_f = \sum_{k=2}^N \delta(t_k - t_{k-1} - \tau)$ помогает выявить основные ритмы, имеющие место в электрограмме.

Частота ритмов определяется формулой

$$f_i = \frac{1}{2\Delta t_i}. \quad (5)$$

Здесь Δt_i — временные интервалы между экстремумами.

Анализ с помощью гистограмм МИИ удобен при исследовании реакций усвоения ритма (РУР).

Были сопоставлены результаты дискретного и непрерывного методов анализа электрограмм мозга кролика.

По формуле

$$\rho_n = \frac{\frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^{N-n} x_i x_{i+n} - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}, \quad (6)$$

где ρ_n — коэффициент автокорреляции в n -й точке; x_i — амплитудное значение ЭЭГ в i -й точке; N — общее число исследуемых значений ЭЭГ, определялись автокорреляционные функции для непрерывных электрограмм, отводимых от мозга кролика, проквантованных с шагом $\Delta t = 17$ мсек.

С другой стороны, по дискретным алгоритмам для этих же кривых подсчитывались функции автоинтенсивности, гистограммы МИИ и гистограммы второго порядка.

Обработка производилась на ЦВМ БЭСМ-6. Анализ под-
вергались участки электрограмм длительностью в 7 сек.

В результате сопоставления спектральных характеристик, получаемых с помощью анализа временных интервалов между экстремумами, со спектральными характеристиками, получаемыми обычными способами, выяснилось, что для выделения доминирующих ритмов и периодической составляющей анализ времен

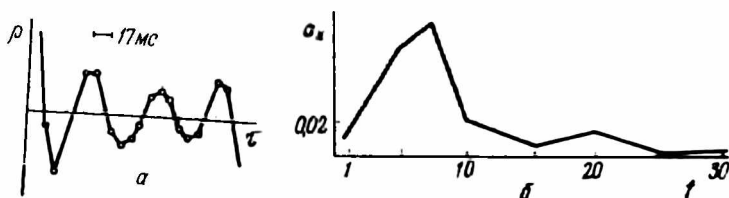


Рис. 1. Автокорреляционная функция (а) и спектр дисперсий (б).

ных интервалов оказывается достаточным. При анализе во временных интервалах несколько искажаются оценки мощности отдельных ритмов.

На рис. 1, а представлена автокорреляционная функция электрограммы мозга кролика (отводимая от гипоталамуса в состоянии физиологической нормы), полученная по формуле (6).

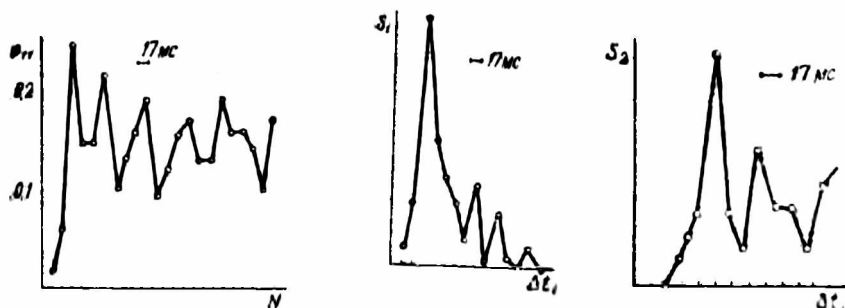


Рис. 2. Функция автоинтенсивности.

Рис. 3. Гистограмма временных интервалов 1-го порядка.

Рис. 4. Гистограмма временных интервалов 2-го порядка.

По автокорреллограмме можно четко выявить периодическую составляющую частотой в 7 Гц и мощностью 0,16.

В спектре (рис. 1, б), полученном по автокорреллограмме, присутствуют частоты в 7; 21; 5 Гц с мощностями 0,021; 0,031; 0,0

На рис. 2, 3, 4 представлены соответственно функции автоинтенсивности, гистограммы временных интервалов 1-го и 2-го порядков.

Функция автоинтенсивности позволяет обнаружить периодическую составляющую в 7,1 Гц мощностью 0,2, а также спектральные максимумы на частотах 3,3; 2,7; 1,9 Гц. Гистограмма временных интервалов подчеркивает спектральный максимум

на 7,1 Гц (его мощность максимальна) и сопутствующие ритмы 3,3; 2,7; 1,9 Гц.

Гистограммы второго порядка не дают принципиально новых результатов по сравнению с гистограммами первого порядка. Переход из временной области в частотную осуществляется по формуле

$$f = \frac{1}{\Delta t_i}.$$

Как показывает сопоставление, в тех случаях, когда не требуется знание формы корреляционной функции, предлагаемый анализ во временных интервалах вполне приемлем.

ВЫВОДЫ

На достаточном статистическом материале (обработано 30 электрограмм) показано следующее.

1. Периодические составляющие могут быть выделены с помощью построения функций автоинтенсивности. Частота ритмического процесса определяется формулой $f_{н.с} = \frac{1}{2\Delta t_{ср}}$.

2. Гистограммный анализ временных интервалов между экстремальными точками позволяет определить адекватный частотный режим работы возбудимого образования.

3. Дискретные алгоритмы обработки энцефаллограмм при реализации их на ЭЦВМ более экономичны, проблема ввода электрограмм в машину решается значительно проще (аналого-дискретный преобразователь кодирует только экстремумы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринфельд О. М. Значение корреляционного анализа для оценки ЭЭГ человека. — В кн.: Математический анализ электрических явлений головного мозга. М., «Наука», 1965, с. 20—25.
2. Ефремова Т. М., Жегалкина Н. Г., Мешалкин Л. Д. Исследование динамики изменения спектрального состава биоэлектрической активности коры головного мозга кролика при ритмическом раздражении. — В кн.: Математический анализ электрических явлений головного мозга. М., «Наука», 1965, с. 3—8.
3. Пономарева И. Д., Цепков Г. В., Пилипенко Ю. Г. Метод дискретизации электрограмм, основанный на разложении во временной ряд. — В кн.: Нейробионика, изд. ИК АН УССР, с. 39—49.
4. Берч Н., Чилдерс Г. Обработка информационных сигналов во временных интервалах. — В кн.: Концепция информации и биологические системы. М., «Мир», 1966, с. 305—323.

Поступила 15 марта 1970 г.

В. В. СВИРИДОВ, д-р техн. наук, *Е. В. БОДЯНСКИЙ*, *И. М. БЕЛАЯ*,
И. Ф. КУСТОВ, канд. техн. наук

О НЕКОТОРЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разработка и внедрение АСУ ТП не подразумевают полное исключение человека из процесса управления. По-видимому, человек-оператор еще долгое время будет играть большую роль в процессах управления технологическими объектами.

В настоящее время технологические процессы по ряду причин не могут быть полностью автоматизированы. Присутствие человека-оператора в системе управления обосновывается требованиями высокого качества, экономичности, гибкости управления и других параметров.

В подобных процессах управление осуществляется либо полностью вручную, либо сочетается с автоматическим управлением. В таком случае управляемый объект совместно с оператором образует замкнутую эргатическую систему. Можно утверждать, что рациональная организация функционирования этой системы является важным фактором повышения эффективности производства.

В настоящей работе обсуждаются некоторые психофизиологические аспекты поведения оператора полупроводникового производства на примере таких технологических процессов, как выращивание и обработка монокристаллов и наращивание эпитаксиальных слоев при создании электронно-дырочных переходов.

В настоящее время большинство технологических процессов требуют совершенствования. В то же время эффективное управление технологическим процессом требует знания его свойств. В производственных условиях практически не существует функционирующих АСУ ТП выращивания и обработки монокристаллов, наращивания эпитаксиальных слоев. Управление процессом осуществляется вручную высококвалифицированным оператором. Таким образом, при исследовании определенного технологического процесса необходимо учитывать особенности поведения оператора при управлении установкой. Так, при выращивании монокристаллов по методу Чохральского выход на требуемый диаметр монокристалла, а также корректировка ведения процесса роста осуществляется не всеми операторами одинаково. Качество эпитаксиальных слоев также во многом определяется особенностями каждого конкретного исполнителя.

Известно [1], что при организации эргатических систем руководствуются двумя основными принципами: наименьшего взаимодействия и функциональной совместимости. Принцип наименьшего взаимодействия, эквивалентный принципу функционально-

го гомеостазиса, предусматривает исключение недетерминированных условий работы, затрудняющих деятельность оператора. Согласно этому принципу, оптимальными считаются такие условия, при которых режим работы установки от процесса к процессу остается неизменным. На практике это условие, как правило, не выполняется, так как с течением времени изменяются свойства установки, исходных материалов и т. д. Поэтому оператору приходится непрерывно корректировать рабочие режимы с целью получить продукцию заданного качества.

Второй принцип требует передачи части управляющих функций оператора управляющему устройству, рациональной организации рабочего места, учета рабочих характеристик человека. Современные установки отвечают требованиям эргономики, часть управляющих параметров может быть подвергнута автоматическому управлению, например, стабилизация мощности ВЧ генератора, температуры испарителя тетрахлорида кремния и лигатуры при эпитаксиальном наращивании, поддержание температуры расплава сырца легированного кремния и скорости вытягивания при выращивании монокристаллов.

Учет этих требований целесообразен при организации работы оператора. Интересно рассмотреть некоторые индивидуальные особенности функционирования каждого конкретного рабочего.

При эффективном управлении необходимо присутствие в структуре эргатической системы канала обратной связи, позволяющего оператору корректировать свои действия от процесса к процессу. Организовать этот канал можно различными способами. На практике различают управление с эмпирической и обратной связью и управление с технологической обратной связью. Если в первом случае процедура управления может быть полностью формализована и поручена управляющей вычислительной машине, то при управлении с технологической обратной связью окончательное решение принимает человек-оператор. В этом случае не требуется формализации объекта и стратегии управления. Управление осуществляется высококвалифицированным персоналом в основном интуитивно с периодической корректировкой технологических режимов и привлечением новых предложений, получаемых в результате экспертного опроса ведущих специалистов. При этом не следует, конечно, пренебрегать использованием математического аппарата. Лишь разумное сочетание математики и интуиции позволит реализовать эффективное управление объектом.

В настоящее время система управления технологическими процессами не предусматривает возможности изменения технических условий. Технологические инструкции действуют в течение длительного времени и, как правило, не корректируются. Однако, поскольку в инструкции режимы заданы в виде довольно широких пределов, оператор имеет возможность постоянно «покачивать» процесс, интуитивно отыскивая область оптимальных

режимов. Подобная система ведения процесса используется многими опытными операторами и по идее близка методу эволюционного планирования [2]. Решение о дальнейшем поведении принимает оператор также интуитивно на основании личных неформализованных правил. Интуитивно-эвристическая деятельность оператора обладает рядом преимуществ перед четко формализованной программой работы УВМ. Здесь следует отметить самообучаемость, способность к самоконтролю, эвристичность, гибкость, адаптируемость к новым условиям работы и т. д.

В процессе работы в контуре эргатической системы оператор постоянно руководствуется личным опытом, интуицией, техническими условиями, сменным заданием, системой критериев, предпочтительности режимов, показаниями датчиков и приборов. При этом он воссоздает в воображении образ объекта, к которому он постоянно обращается. Этот образ мы в дальнейшем будем именовать концептуальной моделью установки. Необходимую информацию для создания и корректировки этой модели он получает с помощью двух полей: сенсорного, состоящего из приборов и сигнальных устройств, и сенсомоторного, состоящего из органов управления.

С помощью информационной модели оператор оценивает состояние установки в каждый момент времени и принимает решение о выборе режима. Создать адекватную модель установки затруднительно и возможно лишь для опытного оператора. Формализация этой интуитивной конструкции — еще более трудная задача. Важным вопросом является выбор наиболее существенных факторов, которые следует непрерывно контролировать и в основном с их помощью осуществлять управление, и критериев, которые каждый оператор выбирает для себя и руководствуется ими при работе.

Естественно, что оператор стремится минимизировать число параметров, но в той мере, чтобы иметь возможность воссоздать верный образ объекта. При работе на установке по наращиванию эпитаксиальных слоев оператор в основном руководствуется показаниями следующих приборов: датчика расхода основного водорода, датчика расхода водорода через испаритель тетрагидрида кремния, датчика расхода водорода через испаритель лигатуры, датчика ВЧ мощности.

Другим примером может служить поведение оператора на стадии обработки выращенных монокристаллов. Здесь оператор, стремясь обработать монокристалл в соответствии с техническими требованиями, использует только информацию о значении измеряемого параметра (удельное сопротивление на торце) или визуально контролируемых параметров (плотности дислокаций и дислокационных дефектов) и знания о распределении этих параметров в данном классе монокристаллов. В качестве критериев выступает обычно стремление увеличить выход годной продукции при любом технологическом процессе, увеличить скорость роста

эпитаксиального слоя, уменьшить расход реагентов, приблизить удельное сопротивление и толщину слоя к требуемым значениям при эпитаксиальном наращивании, а при обработке монокристаллов — и минимизировать трудозатраты.

Оператор обычно имеет множество альтернатив по введению процесса. Все это множество он оценивает по имеющимся критериям и выбирает наилучшее, по его мнению, решение, которое он затем реализует с ошибкой. Установить обоснованность выбранного решения можно, выяснив, с одной стороны, каковы цели оператора, с другой стороны — каковы его суждения и мнения, основанные на прошлом опыте. Этого можно достичь, выяснив у оператора, каково было бы его решение в ряде достаточно простых стандартных ситуаций. Нужно при этом помнить, что значительная трудность в деятельности оператора состоит в необходимости принимать решения в условиях неопределенности или при неполных знаниях о возможных результатах предпринимаемых действий.

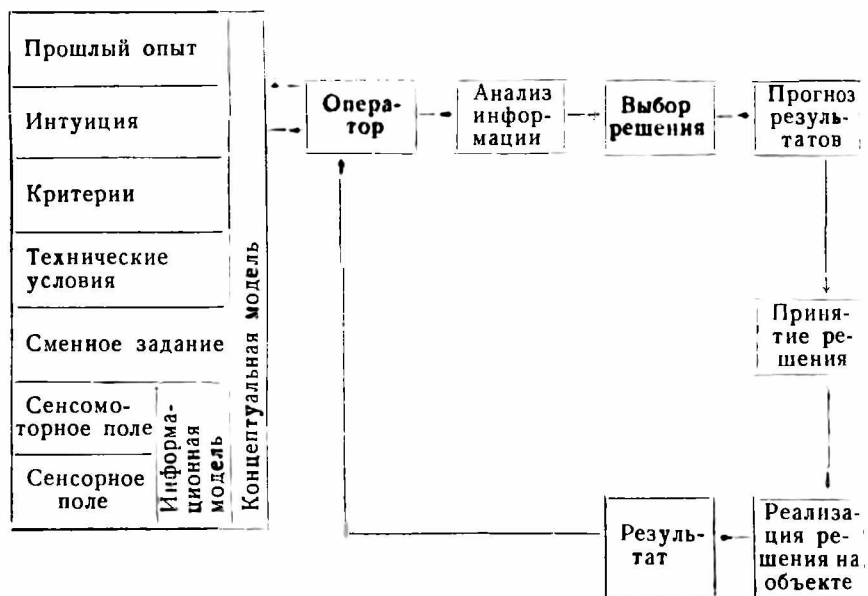
При исследовании деятельности оператора интересно установить логическое построение операции принятия решения, т. е. определить, из каких этапов складывается окончательное решение поставленной задачи. В процессе решения оператор, обращаясь к информационной модели, формирует концептуальную модель объекта, оценивает приемлемые варианты режимов работы, прогнозирует результаты альтернативных решений, выбирает из них наилучшее, по его мнению, и, наконец, реализует его. От процесса к процессу оператор улучшает свою стратегию, как бы подстраиваясь к объекту, к возможно изменяющимся условиям работы, т. е. осуществляет адаптивное управление. Это управление может быть представлено в виде процесса поиска, поскольку оно связано с последовательными решениями о том, надлежит ли остановиться и принять наиболее удовлетворительное из того, что было найдено ранее или надо продолжать поиск с целью получить лучшие результаты.

Таким образом, функционирование эргатической системы можно представить в виде схемы (рисунок). Обращаясь к информационной модели, оператор принимает решение по ведению процесса, прогнозируя возможные последствия этого решения. Если оно представляется ему удовлетворительным, он реализует его. Если результаты процесса положительные, оператор повторяет этот процесс аналогично предыдущему, если же они не удовлетворяют его, то оператор вновь обращается к информационной модели, отыскивая приемлемое решение.

Решение, принимаемое на каком-то этапе, влияет на последующие решения и само зависит от того, что было сделано ранее. Поэтому, принимая решение на данном этапе, необходимо предвидеть, что может произойти на последующих этапах. Как правило, после того, как миновала какая-то стадия процесса, появляются дополнительная информация и опыт, которые использу-

ются для принятия решения. Обращаясь к прошлому опыту, необходимо постоянно помнить цель адаптивного обучения — пересмотр сложившейся модели в свете новой информации.

Следует также отметить, что познавательной деятельности оператора присущи ошибки, которые обнаруживаются в процес-



се усвоения новой информации и включения ее в модель. Возникает вопрос: какой вес следует придавать прошлому опыту и какой — новым данным? Эта задача по смыслу близка методу экспоненциального сглаживания Брауна. Рассматривая ее, нужно учитывать, что переработка информации человеком-оператором является творческим актом и в значительной мере зависит от психологических особенностей каждого индивидуума. Тем не менее, необходимо предположить, что информация о том, как человек принимает решение в стандартных ситуациях, носит объективный характер в том смысле, что разные операторы в данных ситуациях будут принимать аналогичные решения.

Мы уже отмечали большое значение интуиции в процессе формирования концептуальной модели. Интуитивно мыслящий человек, как правило, не в состоянии полностью сообщить, какие аспекты ситуации были им отобраны, какую часть информации в его памяти он использовал, какие соображения привели его к данной форме модели.

Попытки специалиста по управлению ввести количественные характеристики в интуитивно принимаемые решения могут встретить отрицательное отношение. Поэтому следует уделить особое

внимание вопросам разумного согласования усилий технологгов, операторов и специалистов по управлению с целью получить приемлемую со всех точек зрения концептуальную модель объекта. Результаты такой работы принесут определенную пользу для обучения молодых операторов.

Немаловажное значение имеет доступность и обозримость модели. Уточняя и обогащая модель наряду с одновременным ее упрощением, мы добиваемся ясности понимания ее сущности, целей, требований. Обычно начинают с самых простых моделей, сильно отличающихся от действительности, а затем движутся эволюционным путем к более совершенным моделям, точнее отражающим свойства объекта. Упрощение же может быть достигнуто путем ограничения числа факторов, которые наиболее легко измеряются или являются наиболее «значимыми».

Учет всех этих требований приводит к тому, что оператор с большей четкостью представляет себе все особенности процесса, логически увязывает свои знания о нем, что позволяет ему выбирать более разумные стратегии управления. Процесс управления в целом при этом может рассматриваться как ряд последовательных этапов: обращение к информационной модели, принятие решения, обучение на основе получаемых результатов способом более эффективной деятельности, что в итоге ведет к улучшению режимов технологического процесса.

В заключение следует отметить, что применение методов теории эргатических систем при изучении технологических процессов позволит улучшить качество управления этими процессами, обобщить опыт лучших операторов, выработать рекомендации и наметить пути дальнейшей интенсификации производства. Исследование процессов подобными методами является одним из этапов в создании АСУ ТП, эффективность которой во многом зависит от личных качеств человека-оператора, работающего с системой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В. В. К началам теории эргатического организма. — В кн.: Эргатические системы управления. Вып. 1. Киев, «Наукова думка», 1974, с. 3—17.
2. Горский В. Г., Адлер Ю. П. Планирование промышленных экспериментов. М., «Металлургия», 1974. 264 с.

Поступила 10 апреля 1976 г.

УДК 62.506.2

Н. К. СЕРГЕЕВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОДНОГО ФУНКЦИОНАЛА ПРИ НОРМАЛИЗАЦИИ СМЕЩЕНИЙ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Важным этапом при обработке изображений является их нормализация, т. е. приведение изображений к эталонному виду. При этом происходит отстройка от таких преобразований, как

смещение, поворот, масштаб и др. Нормализация возникает как составная часть более общих задач: распознавания образов и принятия решений и используется при создании различных кибернетических устройств.

Известно [1, 2], что решение задачи нормализации предполагает измерение параметров преобразования входных изображений в блоке анализатора и обратного (нормализующего) преобразования, осуществляемого блоком преобразователя. Параметры нормализации однозначно определяются функционалами и реализуются в блоке анализатора.

Одним из функционалов, которые применяются для построения операторов нормализации смещений, является функционал, определяющий координату какой-либо точки изображения (например, самой яркой) [3].

Рассматриваемый функционал имеет вид

$$\Phi(B) = \sum_{i=1}^n \delta_i^m X_i, \quad (1)$$

где δ_i^m — символ Кронекера, определяемый условием

$$\delta_i^m = \begin{cases} 1, & i = m \\ 0, & i \neq m, \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^n \delta_i^m = 1,$$

m — точка с максимальной яркостью; X_i — абсцисса i -й точки; n — количество точечных объектов в исходном изображении.

Применение данного функционала оказывается весьма эффективным при нормализации, например, изображений, заданных совокупностью точечных объектов.

В данной работе на основании определения погрешности вычисления параметров исследуются возможности практического применения алгоритма нормализации с использованием рассматриваемого функционала для отстройки от смещений изображений, заданных совокупностью точечных объектов.

Пусть координата и яркость i -й точки изображения определяются соотношениями

$$X_i = X_{i0} + \Delta X_i, \quad B_i = B_{i0} + \Delta B_i, \quad i = 1, 2 \dots n,$$

где $X_{i0} = M[X_i]$, $B_{i0} = M[B_i]$, а ΔX_i и ΔB_i — нормально-распределенные независимые случайные величины с нулевым средним; $\sigma_{\Delta X_i} = \sigma_X$, $\sigma_{\Delta B_i} = \sigma_B$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Определим математическое ожидание и дисперсию данного функционала:

$$M[\Phi(B)] = M\left[\sum_{i=1}^n \delta_i^m X_i\right] = \sum_{i=1}^n M[\delta_i^m] M[X_i] = \sum_{i=1}^n p_i X_{i0}. \quad (2)$$

Здесь p_i — вероятность того, что i -я точка самая яркая. Найдем выражение для вероятности p_i :

$$p_i = p(B_i > B_j), \quad i, j = 1, 2, \dots, n, j \neq i.$$

В силу независимости случайных величин B_i ($i=1, 2, \dots, n$) можно записать

$$p_i = \int_{-\infty}^{\infty} f_i(B_i) dB_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \int_{-\infty}^{B_i} f_j(B_j) dB_j.$$

Рассмотрим

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_i(B_i) dB_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_B}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(B_i - B_{i0})^2}{2\sigma_B^2}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-u_i^2} dU_i,$$

где $U_i = \frac{B_i - B_{i0}}{\sqrt{2\sigma_B}}$ и

$$\int_{-\infty}^{B_i} f_j(B_j) dB_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_B}} \int_{-\infty}^{B_i} e^{-\frac{(B_j - B_{j0})^2}{2\sigma_B^2}} dB_j.$$

Вводя замену переменных $\frac{B_j - B_{j0}}{\sqrt{2\sigma_B}} = U_j$, получаем

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_j(B_j) dB_j = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{B_i - B_{j0}}{\sqrt{2\sigma_B}}} e^{-U_j^2} dU_j.$$

$$p_i = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-u_i^2} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi^*(U_i + \alpha_{ij}) \right] dU_i,$$

где $\alpha_{ij} = \frac{B_{j0} - B_{i0}}{\sqrt{2\sigma_B}}$; Φ^* — нормальная функция распределения.

Окончательно выражение математического ожидания примет вид

$$M[\Phi(B)] = \sum_{i=1}^n \frac{X_{i0}}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-U_i^2} \prod \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi^*(U_i + a_{ij}) \right] dU_i. \quad (3)$$

Найдем выражение дисперсии рассматриваемого функционала

$$\begin{aligned} D[\Phi(B)] &= M \left[\sum_{i=1}^n \delta_i^m X_i \right]^2 - \left\{ M \left[\sum_{i=1}^n \delta_i^m X_i \right] \right\}^2 = M \left[\sum_{i,j=1}^n \delta_i^m \delta_j^m X_i X_j \right] - \\ &- \left(\sum_{i=1}^n p_i X_{i0} \right)^2 = \sum_{i=1}^n M[\delta_i^m]^2 M[X_i]^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i X_{i0} \right)^2 = \sigma_x^2 + \\ &+ \sum_{i=1}^n p_i X_{i0}^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i X_{i0} \right)^2. \end{aligned}$$

Умножая второй член правой части полученного выражения на $\sum_{i=1}^n p_i = 1$, приводим его к виду

$$D[\Phi(B)] = \sigma_x^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n p_i p_j (X_{i0} - X_{j0})^2. \quad (4)$$

Из полученной формулы видно, что минимальное значение дисперсии функционала $\sigma_{\Phi \min}^2$ достигается при $p_i = 1$ и равно

$$\sigma_{\Phi \min}^2 = \sigma_x^2.$$

Определим максимум дисперсии при условии $\sum_{i=1}^n p_i = 1$, воспользовавшись методом неопределенных множителей Лагранжа:

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n, \lambda) = \sigma_x^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n p_i p_j (X_{i0} - X_{j0})^2 + \lambda \left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right).$$

Рассмотрим случай $n=2$. Тогда

$$F(p_1, p_2, \lambda) = \sigma_x^2 + p_1 p_2 (X_{10} - X_{20})^2 + \lambda (p_1 + p_2 - 1).$$

Приравняв нулю частные производные по p_1 и p_2 от функции F и присоединяя уравнение связи, получаем следующую систему уравнений:

$$p_2 \alpha_{12}^2 + \lambda = 0; \quad p_1 \alpha_{12}^2 + \lambda = 0, \quad p_1 + p_2 = 1,$$

где $\alpha_{12}^2 = (X_{10} - X_{20})^2$.

Решая систему этих уравнений, находим для неизвестных значения $p_1 = p_2 = 1/2$.

Рассмотрим случай $n=3$. Тогда

$$F(p_1, p_2, p_3, \lambda) = \sigma_x^2 + p_1 p_2 \alpha_{12}^2 + p_1 p_3 \alpha_{13}^2 + p_2 p_3 \alpha_{23}^2 + \lambda (p_1 + p_2 + p_3 - 1),$$

где

$$\alpha_{13}^2 = (X_{10} - X_{30})^2, \quad \alpha_{23}^2 = (X_{20} - X_{30})^2.$$

Система уравнений, полученная для данной функции, имеет матрицу коэффициентов

$$A = \begin{vmatrix} 0 & \alpha_{12}^2 & \alpha_{13}^2 & 1 \\ \alpha_{12}^2 & 0 & \alpha_{23}^2 & 1 \\ \alpha_{13}^2 & \alpha_{23}^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

и расширенную матрицу

$$\bar{A} = \begin{vmatrix} 0 & \alpha_{12}^2 & \alpha_{13}^2 & 1 & 0 \\ \alpha_{12}^2 & 0 & \alpha_{23}^2 & 1 & 0 \\ \alpha_{13}^2 & \alpha_{23}^2 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Как нетрудно показать, ранг матрицы $\bar{A}$ на единицу больше ранга матрицы A . Поэтому на основании теоремы Кронекера—Капелли данная система уравнений несовместна.

После несложных, но громоздких преобразований, можно показать, что и в случае n точек система не имеет решения.

Следовательно, дисперсия рассматриваемого функционала достигает максимального значения

$$\sigma_{\Phi \max}^2 = \sigma_x^2 + 1/4 (X_{10} - X_{j0})^2$$

при условии $p_i = p_j = 1/2$, $p_k = 0$, $i, j, k = 1, 2 \dots, n$, $i \neq j \neq k$.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получены выражения для математического ожидания (2) и дисперсии (4) функционала (1). Как следует из этих выражений, вследствие смещения

математического ожидания относительно истинного значения применение данного функционала ограничено. Эффективным следует считать применение рассматриваемого параметра в том случае, если выполняется соотношение

$$|X_j^m - M\{\Phi(B)\}| + \sigma_\Phi < |X_i - M\{\Phi(B)\}| - \sigma_\Phi, \\ i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j,$$

где m — точка с максимальной яркостью.

Во всех остальных случаях требуется применение других функционалов для нормализации смещений рассматриваемых изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путятин Е. П. Теоретические предпосылки нормализации изображений. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 10., Харьков, 1973, с. 82—89.
2. Путятин Е. П., Трепетин М. С. Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение II. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 12, 1974, с. 78—85.
3. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Юрченко В. П. Построение вариантов смещения и поворота зрительных картин. — В кн.: Биологическая, медицинская кибернетика и бионика. Вып. 3. Изд-во ИК АН УССР, Киев, 1970, с. 51—64.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Физматгиз, 1969, с. 219—227.

Поступила 18 апреля 1976 г.

УДК 581.1.03+577.3

А. П. ПАСИЧНЫЙ, И. Д. ПОНОМАРЕВА, Г. В. ЦЕПКОВ,
В. И. ЛАВРИНЕНКО

К ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ-РАСТЕНИЯ

Известно, что анализ переходных процессов в системе, вызванных внешним возмущением скачкообразной формы, позволяет получить ограниченный набор параметров, характеризующих состояние этой системы.

Растение, как сложная система, на внезапное изменение условий среды реагирует многоступенчатой перестройкой клеточного метаболизма, характер и длительность которой зависят от функционального состояния объекта [1, 2]. Вайнейшим возбуждающим фактором для растения является изменение условий освещения, от которого зависит интенсивность фотосинтетических процессов. Биохимическим реакциям при фотосинтезе сопутствуют изменения электрического потенциала растительных клеток. Поэтому биосигнал может быть выбран в качестве информативного показателя, на основе анализа которого возможна диагностика состояния растительных элементов, а также растения в целом.

Так, по функциональному состоянию зеленого листа зачастую судят о состоянии всего растения [1]. Ниже описывается метод определения функционального состояния растения по параметрам

рам его биоэлектрической реакции (БЭР) на скачкообразное изменение освещенности. Приводятся также результаты экспериментов по практическому использованию этого метода. Диагностика состояния культурных растений осуществлялась на основе анализа БЭР, их зеленых листьев.

Итак, исследовалась биоэлектрическая реакция зеленого листа растения на внезапное изменение освещения (воздействия «темнота—свет» и «свет—темнота»). БЭР в этом случае представляет собой переходный процесс. Математическое моделирование БЭР дает возможность оценить особенности ее динамики и определить количественные параметры, необходимые для функциональной диагностики.

Методика исследования

В качестве объектов исследования использовались листья яблони (*Malus domestica*) и абрикоса (*Armeniaca vulgaris*), находившихся в различных функциональных состояниях (заболевание яблони хлорозом в двух стадиях и абрикоса дырчатой пятнистостью в трех стадиях). Для регистрации БЭР использовался ионизационный электрод [3], представляющий собой тонкую металлическую пластинку с тритиевым покрытием.

Электрод фиксировался на расстоянии 1—2 мм от поверхности листа растения. Сигнал (БЭР), отводимый с помощью этого электрода, после предварительного усиления [4] регистрировался на бумажной ленте стандартного кареточного самописца.

Результаты

На рис. 1 показаны БЭР зеленого листа нормально функционирующего растения яблони соответственно на сигналы «темнота — свет» и «свет — темнота».

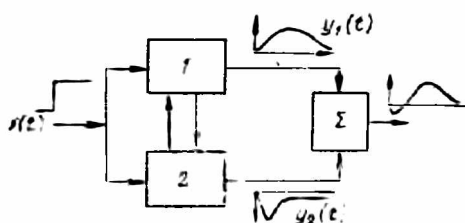


Рис. 1. Характер изменения электрического потенциала на поверхности листа при изменении условий освещения: С — момент включения света; Т — момент выключения света. Отметка по вертикали — 20 мВ; по горизонтали — 5 мин.

Рис. 2. Блок-схема взаимодействия подсистем.

нота — свет» и «свет — темнота». Анализируя форму БЭР, можно заключить, что в ее формировании принимают участие по крайней

мере два механизма: механизм, ответственный за генерацию отрицательных ионов, и механизм, ответственный за генерацию положительных ионов. Сопоставление этих представлений с данными биохимических экспериментов [5, 6] дает следующее.

При включении освещения за счет энергии АТФ и НАДФ·Н₂ возрастает концентрация рибулозодифосфата во внутриклеточной среде и при этом увеличивается количество отрицательных ионов на плазмалемме. В это же время начинается последовательное выполнение фотосинтетических превращений (восстановление ФГК в фосфорные эфиры сахаров и т. д.) и диффузия СО₂ из внеклеточного пространства, что сопровождается прямым изменением числа положительных ионов в сторону увеличения.

Выключение света вызывает более быстротечные физико-химические превращения [6]. Например, концентрация рибулозодифосфата быстро падает до нуля, в то время как концентрация ФГК возрастает. Фотосинтетические процессы прекращаются, что вызывает резкий выброс СО₂ из внутриклеточной среды.

Модель

Представим процесс формирования БЭР растения как результат взаимодействия двух подсистем (рис. 2), каждая из которых ответственна за генерацию однополярных электрических сигналов. Такой подход представляет существенное удобство для моделирования.

Будем полагать, что функционирование подсистемы 1, ответственной за генерацию отрицательных ионов, описывается передаточной функцией

$$\bar{y}(p) = \frac{\bar{F}(p) e^{-\lambda p}}{p^2 + a_1 p + b_1}, \quad (1)$$

где $F(p)$ — преобразователь Лапласа для входного сигнала; a_1 , b_1 — параметры подсистемы 1; λ — латентный период моделируемой системы.

Подсистема 2, ответственная за генерацию положительных ионов, описывается аналогичной передаточной функцией, однако параметры a_2 и b_2 имеют отличные от a_1 и b_1 числовые значения.

С учетом действия адаптационных механизмов растения входной сигнал будем рассматривать как прямоугольный импульс, характеризующийся определенной амплитудой u , длительностью τ и полярностью. Так, входной сигнал для реакции «темнота — свет» рассматривается как импульс положительной полярности длительностью τ_1 и амплитудой a_1 , а входной сигнал для БЭР типа «свет — темнота» — как импульс отрицательной полярности длительностью τ_2 и амплитудой a_2 . Предполагается также, что параметры a_1 , b_1 , a_2 , b_2 подсистем 1 и 2 не изменяются при различных входных воздействиях.

ях, т. е. при различных входных воздействиях изменяются только параметры входного сигнала. Пересчет длительностей τ_2 входного сигнала «свет — темнота» для различных растений показывает, что τ_2 уменьшается примерно в 20 раз по сравнению с величиной этого параметра для сигнала «темнота — свет».

При анализе БЭР, полученных от растений, находящихся в различных функциональных состояниях под воздействием

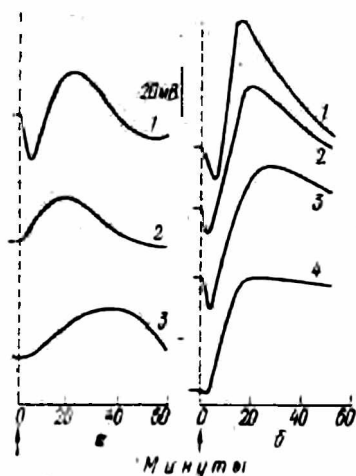


Рис. 3. Биоэлектрическая реакция листьев растений на разных стадиях заболевания: А — реакция листа яблони (1 — здорового растения; 2, 3 — больного хлорозом); Б — реакция листа абрикоса (1 — здорового растения; 2, 3, 4 — при развитии заболевания дырчатой пятнистостью).

сигнала «темнота — свет» (рис. 3), рассчитывались следующие параметры математической модели: а) отношение экстремумов переходных процессов для реакции «темнота — свет»; б) корни характеристических уравнений α_1 и α_2 для передаточных функций подсистем 1 и 2 в предположении об их кратности, т. е. для уравнения (1) выполняется соотношение

$$\frac{a_1^2}{4} = b_1,$$

а корень характеристического уравнения определяется формулами

$$\alpha_{1,2} = -\frac{a_1}{2};$$

$$\alpha_{1,2} = -\frac{1}{\tau_1} \ln \frac{t_1}{t_1 - \tau_1},$$

где t_1 — момент достижения экстремума соответствующего переходного процесса.

Результаты анализа экспериментальных данных сведены в таблицу.

Растение	Функциональное состояние	α_1 (1/сек)	α_2 (1/сек)	$\overline{y} = \frac{y_1}{y_2}$
Яблоня	Норма	$-0,41 \pm 0,11$	$-0,07 \pm 0,01$	$1,2 \pm 0,2$
	Хлороз, стадия 1	—	$-0,086 \pm 0,005$	0
	Хлороз, стадия 2	—	$-0,040 \pm 0,005$	0
Абрикос	Норма	$-0,28 \pm 0,001$	$-0,058 \pm 0,005$	$0,30 \pm 0,05$
	Дырчатая пятнистость, стадия 1	$-0,285 \pm 0,01$	$-0,060 \pm 0,0005$	$0,19 \pm 0,02$
	Дырчатая пятнистость, стадия 2	$-0,57 \pm 0,03$	$-0,12 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,05$
	Дырчатая пятнистость, стадия 3	—	$-0,47 \pm 0,02$	0

Обсуждение

Как следует из таблицы, в зависимости от типа заболевания по разному изменяются параметры подсистем. Например, при хлорозе растений яблони удельный вес участия подсистемы 1 в суммарной реакции системы существенно снижается до полного ее исключения. С ухудшением функционального состояния растения α_2 подсистемы 2 по абсолютной величине также уменьшается, что указывает на снижение ее быстроедействия.

Заболевание дырчатой пятнистостью растений абрикоса характеризуется очевидным функционированием обеих подсистем, но их основные параметры при этом также изменяются уменьшается значение показателя ϕ . Развитие заболевания приводит к изменению характера регулирования биосистемы (снижается порядок дифференциального уравнения). Кривая БЭР, характеризующая 3-ю стадию заболевания абрикоса, может быть описана дифференциальным уравнением первого порядка. Числовое значение α приведено в таблице. Характерной особенностью данного процесса является выключение адаптационного механизма.

Таким образом, параметры электрической реакции зеленого листа растения, определяемые с помощью математического описания, могут быть использованы при диагностике функционального состояния растения и определении стадии заболевания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семененко В. Е. Изучение механизма процессов переходных состояний фотосинтеза. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук, М., 1962. 30 с.
2. Мелешенко С. Н. Динамика переходных процессов зеленого листа при изменении светового режима. — «Биофизика», 1966, т. 11, № 5, с. 870—876.
3. Ионизированный воздушный электрод. — В кн.: Вопросы экспериментальной биофизики и кибернетики растений. Л., Гидрометеоиздат, 1969, с. 78—83. Авт.: А. П. Пасичный, Д. М. Гродзинский, В. Г. Карманов и др.
4. Ким Е. Н., Цепков Г. В. Предварительный усилитель биосигналов растений. — В кн.: Биофизика растений. Первый Всесоюз. симпозиум, изд. ВАСХНИЛ, Краснодар, 1974, с. 201—207.

5. Bassam J. A., Calvin M. The path of carbon in photosynthesis. — «Encyclopedia of plant physiology», v. 5, part 1, 1960. 884 p.
6. Pedersen T. A., Martha K., Bassam J. A. Light — dark transients in levels of intermediate compounds during photosynthesis in air — adapted *Chlorella*. — «Physiol. plantarum», 19, 1966, № 1, p. 219—224.

Поступила 20 марта 1976 г.

УДК 62.506.2

В. Н. ЧУДАКОВ

ТИПЫ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КВАНТОВО-ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ КОГЕРЕНТНОГО МОЗГА

Учение И. П. Павлова о типах нервной системы человека осталось нам в наследие в сущности в виде высказываний, имеющих самое общее ориентировочное предварительное значение. В основу типологии положен ряд основных свойств нервной системы: сила — слабость, уравновешенность — неуравновешенность возбудительного и тормозного процессов и подвижность — инертность нервной системы [1]. Однако мало исследованы биофизические механизмы переработки информации волн-сигналов в нервной системе.

В своей работе мы попытались преодолеть указанный недостаток и выяснить структурные физико-нейрофизиологические механизмы типов нервной системы, основываясь на следующих положениях.

1. Процессы в нервной системе могут быть представлены двумя классами нейронных структур: квантово-волновыми Q -нейронными структурами и классическими волновыми C -структурами [2—3]. Таблица многообразия типов Q и C нейронов как детекторов и как генераторов спонтанного самовозбуждения приводится в сообщении 1 [4].

2. Организация процессов мозга подчиняется принципу когерентности, выраженному двумя соотношениями [3]:

$$\frac{dI_{E_k}}{dt} = 0$$

характеризует бездиссипативность (безэнтропийность) распространения потоков волн-сигналов возбуждений в структурах мозга;

$$\frac{dI_{E_k}}{d\varphi_k} = 0$$

выражает бесшумовое распространение потоков информацион-ной энергии волн-сигналов [5].

3. Так как принцип когерентности выражает одну сторону интегративной деятельности мозга, то мы его дополним принципом декогерентности (десинхронизации). В силу принципа декогерентности происходит рассогласование нейронных комплексов. Это приводит к независимости активности отдельных нейронов,

что создает возможность формирования новых резонирующих комплексов нейронов. Принцип декогерентности обуславливают особые нейроны — генераторы спонтанного самовозбуждения. Это как бы пусковые и регулирующие механизмы когерентного мозга. В отличие от обычных функционально управляющих Q и C нейронных структур переработки информации волн-сигналов генераторы спонтанного самообслуживания будем обозначать через $\bar{Q}$, $\bar{C}$, причем ограничения на их параметры и условия нормировки остаются теми же (см. в [4]).

4. Физико-кибернетические принципы когерентности и декогерентности выражают нейрофизиологический принцип доминанты Ухтомского [6].

Рассмотрим теперь свойства типов нервной системы в терминах квантово-волновой теории когерентного мозга [2, 3].

Слабость или сила центральной нервной системы зависит от мощности Q квантовых и C классических генераторов спонтанного самовозбуждения ансамблей нейронов и выражается функцией $P = f(E_{\text{инф}}, n, t)$, где $E_{\text{инф}}$ — объем информационной энергии возбуждения, производимой n , Q , $\bar{C}$ генераторами за время t .

Степень уравнированности или неуравнированности ЦНС зависит от мощности центров возбуждения и торможения, корреляции этих центров и механизма переключения фаз φ_i , $\bar{\varphi}_i$ центров $K = f(P_i, \bar{F}_i, \alpha)$, где P_i — мощность источников производства энергии возбуждения P_i или торможения $\bar{P}_i$, $\bar{F}_i$ — функция корреляции центров возбуждения или торможения; α — параметр механизма переключения фаз в парадоксальных состояниях ЦНС [6].

Подвижность и инертность ЦНС выражается в скорости образования «картин» возбуждения и торможения центров до-

минант: $V_i = \frac{N_{\text{инф}}}{t}$, N_i — количество картин возбудимости N_i или тормозимости $\bar{N}_i$ нейронных комплексов; t — время производства этих картин [7], а также в скорости образования суперпозиционной «картины» доминанты $\bar{N}_s(n)$, полученной от суперпозиции n картин.

Соотношение $\bar{Q}$ и $\bar{C}$ генераторов спонтанного самовозбуждения нейронных комплексов является важнейшей характеристикой динамических особенностей интеллектуальной деятельности мозга, т. е. его темпа, скорости, ритма, составляющих эту деятельность процессов и состояний [1]. Следовательно, соотношение и количество $\bar{Q}$ и $\bar{C}$ генераторов спонтанного самовозбуждения нейронных комплексов является характеристикой темпера-

С и $\tilde{Q}$ генераторы спонтанного самовозбуждения

Управляющие Q и C структуры	Холерический темперамент $Q \gg C$	Сангвинический темперамент $Q \approx C$	Флегматический темперамент $Q < C$	Меланхолический темперамент $Q < C$
Цикло- $Q > C$	Сильный неуравновешенный, подвижный, эмоциональный тип	Сильный, уравновешенный, подвижный, эмоциональный тип	Сильный, уравновешенный, инертный, эмоциональный тип	Слабый, уравновешенный, инертный, сентиментальный тип
Шизо- $C < Q$	Сильный, неуравновешенный, подвижный, раздражительный тип	Сильный, уравновешенный, подвижный, расщудочный тип	Сильный, уравновешенный, инертный, холодный, рассудочный тип	Слабый, уравновешенный, инертный, безличный тип
Эпилепто- $Q = C$	Сильный, неуравновешенный, подвижный, локально-неуправляемый тип	Сильный, уравновешенный, подвижный, средний тип	Сильный, уравновешенный, инертный, средний тип	Слабый, уравновешенный, инертный, неустойчивый тип

ментов [7]. В предыдущей работе [4] на основании квантово-классического представления событий и врожденных физико-нейрофизиологических механизмов переработки информации волн-сигналов нейронными структурами были выделены классы нейропсихической организации мозга (шизо-, цикло-, эпилепто-классы интеллекта). Учитывая взаимоотношения классов интеллекта и типов темперамента, в таблице приведено все многообразие типов нервной системы в первом приближении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Небылицын В. Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий. М., «Наука», 1976. 328 с.
2. Чавчанидзе В. В. К квантово-волновой теории когерентного мозга. — В кн.: Бионика. Киев, 1973, с. 102—118.
3. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Под ред. Чавчанидзе В. В. Тбилиси, «Мецниереба», 1974. 360 с.
4. Чудаков В. Н. Классификация нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности на основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 18, Харьков, 1977, с. 46—61.
5. Чавчанидзе В. В. К эволюционным механизмам биорезонансов интерферирующих потоков сигналов в нейронных сетях. — «Сообщение АН Груз. ССР», 1972, т. 65, № 2, с. 295—297.
6. Ухтомский А. А. Доминанта. М.-Л., «Наука», 1966. 270 с.
7. Речмер Э. Строение тела и характеры. М., «Наука», 1930. 286 с.

Поступила 12 мая 1976 г.

УДК 621.3.049.75.001.2—5 : 621.383.93

Ф. Д. ДУБИНИН

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ПРОКЛАДЫВАНИЯ ТРАССЫ ПО КАРТЕ

Автоматические системы для прокладывания трассы по местности с препятствиями входят в состав автоматических исследовательских машин, предназначенных для работы в условиях дальнего космоса, океанологии и в других ситуациях, когда двухсторонняя связь между оператором и информационной машиной затруднена из-за энергетических или временных ограничений (большой уровень шумов, большое запаздывание сигнала).

Для решения поставленной задачи (или аналогичных задач таких, как проектирование печатных плат), как правило, прибегают к использованию универсальных ЦВМ [1, 2]. Однако в условиях весовых и габаритных ограничений, свойственных транспортным роботам, использование ЦВМ представляется неэкономичным. Целесообразно применить для решения поставленной задачи специализированное аналоговое устройство, выполненное из однородных элементов высокой надежности.

В работе рассматривается аналоговый вычислительный прибор, прокладывающий трассу по готовой карте с обозначенными на ней препятствиями. Прибор состоит из двух оптоэлектронных

планшетов и фотоэлектрического регистратора. Принцип действия прибора заключается в построении трассы по ряду точек, которые фиксируются в регистраторе в момент встречи фронтов двух световых волн, двигающихся по двум планшетам навстречу друг другу из крайних точек трассы. Особенностью физической структуры прибора является использование в планшетах регенеративных оптронов. Оптическое возбуждение любой незатор-

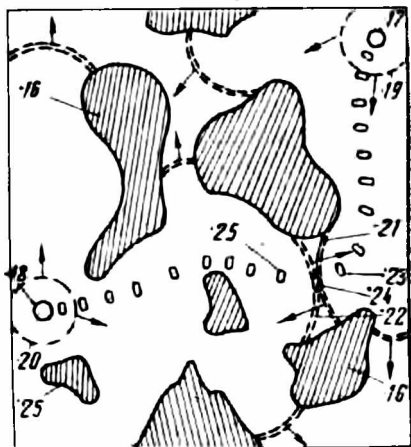
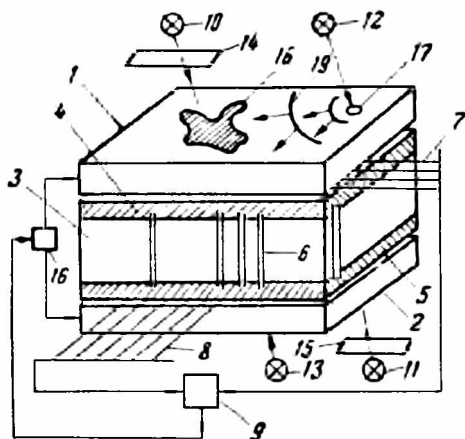


Рис. 1. Схема устройства для автоматического прокладывания трассы.
Рис. 2. Схема с нанесенными на нее изображениями препятствий.

моженной области оптрона приводит к распространению световой волны по поверхности планшета концентрично к первоначально возбужденной области. «Растекание» светящейся зоны по оптрону происходит из-за наличия внутренней положительной обратной оптической связи между фоторезисторной и электролюминесцентной плоскостями оптрона. Аналитические выражения этого процесса приведены в [3, 4]. Волна не распространяется по заторможенным областям планшета, отображающим препятствия.

Прибор содержит два оптронных планшета 1 и 2 (рис. 1), расположенные по обе стороны фотоэлектрического регистратора совпадения фронтов световых волн. Регистратор состоит из двух фоторезисторных пленок 4 и 5, нанесенных на основание 3 с анизотропной проводимостью. В качестве анизотропного основания целесообразно использовать стеклометаллический диск, содержащий регулярно расположенные поперек стеклянной пластины тонкие металлические проводники 6. Слои 4 и 5 контактируют со штырьками 6, выступающими за плоскость основания 3. Для выявления координаты области соприкосновения фронтов на поверхности каждого фотослоя 4, 5 расположены две ортогональные группы из проводников 7, 8. Светящиеся электролюминесцентные поверхности оптронных планшетов прилега-

ют к фоточувствительным слоям регистратора, согласованным по спектральной чувствительности с излучением электролюминофора.

На фоточувствительные поверхности планшетов «наносится» карта местности с препятствиями. Для этого зоны поверхности планшетов, соответствующие препятствиям, облучают тормозящим светом, обычно — инфракрасным, при этом фотослой планшетов изготавливаются из вещества, чувствительность которого падает под воздействием ИК-облучения. Такое торможение можно выполнить, например, проектируя на планшеты инфракрасные изображения одинаковых диапозитивов 14 и 15 схемы с препятствиями 16¹.

Такая схема приведена на рис. 2. Точки 17 и 18, между которыми необходимо проложить трассу, облучают при помощи излучателей 12 и 13 (рис. 1) импульсами зеленого света, вызывающего в оптронах 1 и 2 распространение двух световых волн (например, 19).

Две волны 19 и 20 начинают двигаться навстречу друг другу. Периметр волн растет, препятствия 16, «расположенные» на поверхности планшетов, могут привести к разделению волн на отдельные фрагменты. В момент фронтального соприкосновения двух фрагментов 21 и 22, движущихся навстречу друг другу, производится определение координаты области соприкосновения 24. На этом участке волн 21 и 22 в фоторегистраторе возникает цепь с малым сопротивлением, составленная из нескольких электродов 7 и 8, освещенных участков фоторезисторов регистратора, прилегающих к светящимся областям планшетов, и одного или нескольких штырьков 6. Координаты области 24 фиксируются в запоминающем устройстве 9 (рис. 1).

Искомая трасса между точками 17 и 18 состоит из дискретных областей 17, ..., 23, 24, 25, ..., 18 (см. рис. 2), процесс выявления которых состоит из однотипных циклов. В первый цикл точки 17—18 облучаются возбуждающими импульсами света одновременно. Световые волны соприкасаются в области 24, координаты которой запоминаются, а процесс распространения волн прерывается при помощи кратковременного отключения источника питания 16 оптрона.

Процесс поиска следующей точки трассы заключается в том, что в точку 17 импульс света подается с запаздыванием Δt относительно точки 18. Соприкосновение фронтов происходит в области 23. Повторяя ту же операцию с запаздыванием $2\Delta t$, $3\Delta t$, ..., получаем области, образующие половину трассы, между 24 и 17. Затем возбуждающий импульс подают в точку 18 с запаздыванием Δt относительно точки 17; повторяя процесс при $2\Delta t$, $3\Delta t$, ..., получают второй ряд областей 25, ..., образующих вторую поло-

¹ Очевидно, что изображения схемы, спроектированные на планшеты, полностью совпадают при их совмещении.

вину трассы, между 24 и 18. Волны не распространяются в зонах 16, отображающих препятствия, так как эти области постоянно освещены тормозящим облучением.

Таким образом, процесс поиска очередного участка трассы заключается в том, что в конечные точки трассы возбуждение подается с все возрастающим запаздыванием:

$$|t_1 - t_2| = n\Delta t, \text{ где } n = 0, 1, 2 \dots N.$$

Процесс оканчивают тогда, когда волна из точки 17 (18) достигает 18 (17). Тем самым получают $2N + 1$ областей.

Линия соединения этих областей представляет собой искомую трассу. Отрезки трассы между дискретными участками, расположенными вблизи препятствий и вдали от них, — неравны. Вблизи препятствий участки располагаются теснее вследствие уменьшения скорости перемещения волн по макету карты, имеющему нейристорную характеристику. Тем самым автоматически повышается точность аппроксимации трассы на участках вблизи препятствий. Понижение скорости волны происходит вследствие увеличения тормозящей составляющей в зоне, близкой к препятствиям. Такой эффект характерен для нейристорных плоскостей, выполненных функционально как модель биологической возбудимой системы [5].

Использование в устройстве однородных регенеративных оптронов увеличивает надежность, так как локальные повреждения однородных структур не приводят к их полному отказу. Использование плоских полупроводниковых компонентов в составе оптронных планшетов и в регистраторе координат позволяет выполнить большую часть устройства в виде монолитного модуля с применением пленочной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиман Ю. Л., Рябов Г. Г. Волновой алгоритм и электрические соединения. — «Тр. ИТМ и ВТ», М., 1965, с. 211—220.
2. Петров В. И. Об одном алгоритме прокладки маршрута. — В кн.: Системы обработки и передачи информации. Вып. 74, Л., 1972, с. 96—103.
3. Фок М. В. Теория электролюминесцентных преобразователей. М., «Сов. радио», 1961. 52 с.
4. Дубинин Ф. Д. Принципы построения оптоэлектронных моделей однородных биологических систем с латеральным торможением и распространяющимся возбуждением. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 11, Харьков, 1973, с. 95—102.
5. Гулько Ф. Б., Петров А. А. Механизм образования замкнутых путей проведения в возбудимых средах. — «Биофизика», 1972, т. 27, вып. 2, с. 113—120.

Поступила 3 февраля 1975 г.

Э. П. ЧОРНОШТАН,
И. Б. СИРОДЖА, канд. техн. наук

МАШИННАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАТОРА РУКОПИСНЫХ НОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗНАКОВ

При обработке сложных изображений используют методы структурного направления. Среди них широко распространено понятие локальных характеристик (параметров) формы, в качестве

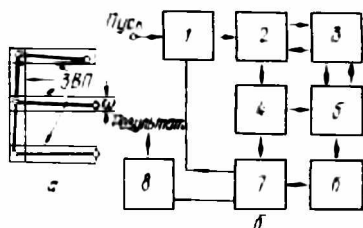


Рис. 1.

направления линий на локальных участках изображений [1].

В работах [2, 3] предложена методика анализа изображений рукописных нормализованных знаков при помощи дискретных (логических) фильтров направлений, на основе которых формируются знаковые признаки.

Каждый знаковый признак T_{ξ}^m характеризуется направлением начертания $m - \alpha, \beta, \gamma, \delta$ и местом расположения (адресом) в описании знака ξ . Так описание буквы E имеет четыре знаковых признака: T_{1-5}^{α} , T_{0-2}^{β} , T_{0-6}^{γ} , T_{2-4}^{δ} (рис. 1), где цифрами обозначены точки, определяющие адрес признака, а индексами α и γ — направления начертания линий.

Чтобы проверить принцип действия предложенной методики анализа изображений и получить необходимый статистический материал, был создан алгоритм, моделирующий работу классификатора. При составлении алгоритма широко использовали математический аппарат R -функций [4].

С помощью этого алгоритма исследовали изображения знаков следующих конфигураций:

А, Б, В, Е, Ж, И, К, М, Ф, У, Я, Ю, З, Т, Ш

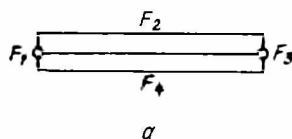
Этот ансамбль знаков охватывает весь набор коротких признаков как наименее помехоустойчивых. Кроме того, в него входят буквы и цифры с большим числом наложений знаковых признаков друг с другом (например, В, Ж, Ф, Я и др.).

Состав и действия алгоритма. Аналитическое описание j -го знака вызывается с блока 1 массива эталонных описаний (рис. 1, б), состоящего из координат концов отрезков $(x_1, y_1; x_2, y_2)$ прямых, которые входят в описание символа, с указанием направления отрезков (слева направо, снизу вверх) и числа ϕ предъявлений знаков одного класса. Затем в блоке 2 на основе

описания j -го знака с помощью датчика случайных чисел генерируют описание того же знака, только с некоторыми случайными отклонениями от эталонного описания. Эти отклонения ограничены зонами признаков, ширину которых ω предварительно задают (см. рис. 1, а).

Координаты концов отрезков нового описания знака поступают в блок 3, где формируется описание того же знака, только с учетом толщины линий, описывающих знак, т. е. формируется описание знака Ω -области [4].

С этой целью для каждого отрезка строят четыре уравнения прямых



$x_2 y_2$	$x_4 y_4$
$x_1 y_1$	$x_3 y_3$

Рис. 2.

таким образом, чтобы отрезок, принадлежащий символу, был

Уравнение такого параллелепипеда задаваемыми F_1, F_2, F_3 (рис. 2, а).

$$\Omega_k = \bigwedge_{i=1}^4 F_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Если j -й знак состоит из n отрезков, функция изображения этого знака следующая:

$$\Omega_j = \bigvee_{k=1}^n \Omega_k = \bigvee_{k=1}^n \bigwedge_{i=1}^4 F_{ik}. \quad (2)$$

где $\bigvee$, $\bigwedge$ — операции R -конъюнкции и R -дизъюнкции [4].

На следующем этапе по программе, задаваемой блоком 4, выполняют осмотр поля знака в определенной последовательности. При этом на каждом шаге анализа формируется «окошко» 2×2 (блок 5), каждой ячейке которого присваивают координаты согласно рис. 2, б. Путем опроса 3, в котором хранится описание знака, выясняется логическая ситуация в данной точке поля. Каждой ячейке «окошка» присваивают 0 или 1 в зависимости от того, что находится в данной точке поля изображения — чистое поле (0) или знак (1).

Полученный результат предъявляют блоку 6 с целью определить тип локального признака. При этом горизонтальному признаку соответствует ситуация 01 10 или 1001; вертикальному — 1100 или 0011; наклонному признаку типа β — 1110 или 0111, а наклонному признаку типа δ — 1011 или 1101. Результат анализа подают в блок 7.

После анализа предъявленного знака система генерирует знак того же класса по команде K (блок 3) и выполняет перечисленные выше операции. После генерирования и анализа ϕ знаков одного класса в блоке 7 вычисляют вероятности появления знаков-

вых признаков L -й длины в знаках данного класса. На следующем этапе командой A (блок 7) вызывают эталонное описание знака следующего класса, с которым выполняют те же самые процедуры.

В результате анализа всех классов в блоке 8 накапливается информация, на основе которой можно построить графики распределения вероятностей появления признаков L -й длины в j -м знаке (рис. 3, а):

$$\text{Вер} [T^m]_j(L) = \frac{R_m}{\varphi}, \quad (3)$$

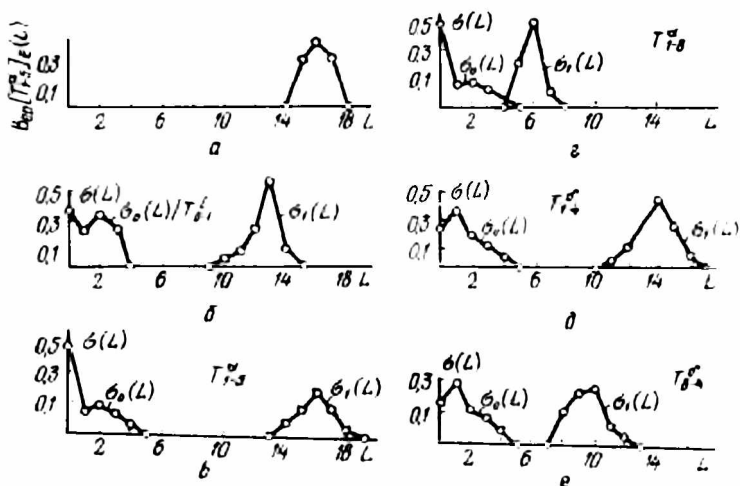


Рис. 3.

где R_m — число появлений признака T^m длиной L в знаке j -го класса; φ — число предъявлений знаков этого класса; $L = 0, 1, 2, \dots, 20$, $m = \alpha, \beta, \gamma, \delta$.

Поскольку по условиям эксперимента появление знаков каждого класса равновероятно, были вычислены среднеарифметические значения вероятностей появления знаковых признаков L -й длины $\sigma(L)$.

При подсчете $\sigma(L)$ учитывалось присутствие (или отсутствие) данного признака анализируемому знаку.

Если общее число классов знаков, предъявляемых системе, равно n , а число классов знаков, имеющих m -й признак, равно l , то среднеарифметическая вероятность появления длин признаков, присутствующих в описаниях знаков, равна

$$\sigma_1(L) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \text{Вер} [T^m]_{j_1}(L). \quad (4)$$

Здесь j_1 — список знаков, имеющих m -й признак. А среднеарифметическая вероятность появления длин признаков, отсутствующих в описаниях знаков, равна

$$\sigma_0(L) = \frac{1}{n-l} \sum_{l_0=1}^{n-l} \text{Вер } [T_{\xi}^m]_{l_0}(L), \quad (5)$$

где j_0 — список знаков, не имеющих m -й признак.

При правильном подборе классов знаков и их конфигураций на общем графике $\sigma(L)$ среднеарифметическое распределение $\sigma_1(L)$ вероятностей длин признаков, присутствующих в описаниях знаков, должно быть на определенном расстоянии от среднеарифметического распределения вероятностей длин признаков, отсутствующих в описании знаков $\sigma_0(L)$. Наличие такого расстояния обеспечивает высокую помехоустойчивость системы анализа.

По описанной выше программе выполнен анализ и получены результаты, представленные в виде 16-ти графиков (на рис. 3 приведено 6 из них), причем каждый знак был предъявлен системе анализа 20 раз. При этом общее число предъявлений равно $20 \times 15 = 300$, высота знаков принята $h = 24$, ширина $b = 18$, отношение $b/h = 3/4$, допустимая ширина зон вариаций признаков $\omega_{\text{доп}} = 1/6$.

ВЫВОДЫ

1. Все вертикальные признаки (см., например, рис. 3, б) надежно выделяются при пороге $\epsilon_{\gamma} \geq 7$.

2. Горизонтальные признаки типа T_{0-6}^a , T_{1-5}^a , T_{2-4}^a (рис. 3б) очень хорошо выделяются на фоне помех при пороге $\epsilon_a \geq 12$.

3. Короткие горизонтальные признаки T_{1-8}^a , T_{1-5}^a , T_{2-4}^a (рис. 3, г) сливаются с фоном помех и не могут быть выделены. Поскольку эти признаки используются только для описания знака Ю, то имеет смысл не выделять их как знаковые признаки, а использовать для описания на бумаге. В решающем же устройстве букву Ю представить только тремя вертикальными признаками T_{0-1}^a , T_{3-7}^a , T_{4-4}^a .

4. Короткие наклонные признаки T_{2-8}^b , T_{6-8}^b , T_{4-8}^b , T_{0-8}^b также хорошо выделяются на фоне помех при пороге $\epsilon_b = \epsilon_0 \geq 6$.

Но зоны распределения длин этих признаков перекрываются (рис. 3, е) или соприкасаются с зонами распределения длин признаков, формирующихся в тех же зонах (рис. 3, д). Данное явление свидетельствует о том, что невозможно разделить эти признаки друг от друга (T_{6-1}^z , T_{6-8}^z , T_{8-4}^z и T_{1-4}^b , T_{0-5}^b и T_{0-8}^b).

Если же выбросить из описания знаков короткие наклонные признаки, то 100%-ное выделение длинных наклонных признаков типа $T_{6-1}^3, T_{2-5}^3, T_{1-4}^3, T_{0-5}^3$ можно обеспечить при величине порога $\varepsilon_3 = \varepsilon_8 \geq 10$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов В. П. К теории анизотропной фильтрации изображений. — «Труды III Всесоюзной конференции по информационно-поисковым системам и автоматизированной обработке научно-технической информации». Т. 3, М., 1967. с. 78—84.
2. Черноштан Э. П. Методика формирования иерархической системы логического выделения характерных параметров описания изображений. Сообщение I. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 13, 1974, с. 114—121.
3. Черноштан Э. П. Методика формирования иерархической системы логического выделения характерных параметров описания изображений. Сообщение 2. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14, 1975, с. 135—144.
4. Рвачев В. Л. Геометрические приложения алгебры логики. Киев, «Техника», 1967. 212 с.

Поступила 20 января 1976 г.

УДК 62—523.8 : 621.1.033.3 : 621.383.93

Ф. Д. ДУБИНИН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОРОДНОЙ МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАЦИЕЙ ШАГАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА

В работе [1] рассмотрены несколько вариантов однородных оптоэлектронных систем, предназначенных для моделирования процессов распространяющегося возбуждения и латерального торможения в биологических структурах, характерной особенностью которых является принадлежность к системам непрерывного типа, так называемым континуальным средам» [2—4].

Модели однородных биологических систем целесообразно использовать в качестве устройства управления биоподобными механизмами.

1. Конструкция и некоторые динамические характеристики модели

Основным элементом модели являются электролюминесцентный усилитель света, между излучающими и светочувствительными плоскостями которого включены оптические линии обратных связей. Положительная обратная связь приводит к возникновению оптронного режима и вызывает процесс распространения по поверхности оптрона световой волны; отрицательная обратная связь приводит к уменьшению коэффициента усиления системы и к возникновению рефрактерной, заторможенной зоны вследствие срыва оптронного эффекта. Оба вида обратных

связей характеризуются пространственными функциями связи, как правило, колоколообразной формы.

Континуальные и мозаичные модели в оптронном режиме функционально идентичны двумерному нейристор. Оптимизация конструкций моделей в первую очередь сводится к уменьшению ширины волнового фронта и рефрактерной зоны. Это способствует увеличению количества сигналов, которые могут быть поданы на нейристорную плоскость при неизменной ее площади, увеличению плотности записи информации.

Рассмотренные в работе [1] мозаичные модели содержат регулярно повторяющиеся и включенные параллельно ячейки, состоящие из двух последовательно соединенных фоторезисторов. Освещение нешунтированного фоторезистора приводит к усилению яркости электролюминофора; освещение шунтированного фоторезистора приводит к уменьшению яркости электролюминофора.

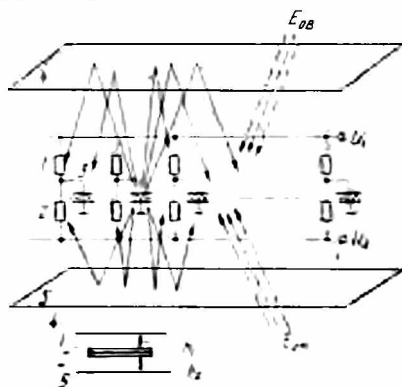


Рис. 1. Схема электрических соединений и оптических потоков в мозаичной модели биологической структуры: 1 — «возбуждающий» фоторезистор; 2 — «тормозящий» фоторезистор; 3 — электролюминофор; 4, 5 — полупрозрачные зеркала; $E_{от}$ — тормозящее излучение; $E_{об}$ — возбуждающее излучение.

Характеристики моделей существенно улучшаются при включении шунтирующего фоторезистора на отдельный источник питания I_2 (рис. 1). В этом случае увеличивается коэффициент усиления в цепи торможения, что позволяет уменьшить ширину возбужденной зоны при перемещении волны и увеличить перепад яркости (dB/dx) на переднем фронте выходного изображения. Конструкция мозаичной модели двойного питания м. б. выполнена на основе стекла с анизотропной проводимостью [5]. Модель выполняется по симметричной схеме. Оптическая обратная связь осуществляется зеркальными системами 4 и 5, при этом излучение, отраженное от зеркала 4, попадает только на фоторезисторы 1; соответственно излучение, отраженное от зеркала 5, попадает только на фоторезисторы 2.

С целью оценить влияние параметров модели на достижение критерия оптимальности для одной ячейки модели проанализирован переходный процесс $B(t)$ после подачи на возбуждающий фоторезистор 1 светового импульса единичной амплитуды $E_{об} = 1$ лк в течение одного первого временного такта. Оценка производилась расчетным путем при помощи ЦВМ «Проминь-2».

Расчет производился по следующим уравнениям, связывающим параметры модели:

$$E_b(t) = B(t)S_b + E_{ob}(t), \quad (1)$$

$$E_T(t) = B(t) S_T + E_{oT}(t), \quad (2)$$

$$\tau_1 \frac{dg_1}{dt} + g_1 = g_0 + F_1(E_b), \quad (3)$$

$$\tau_2 \frac{dg_2}{dt} + g_2 = g_0 + F_2(E_T), \quad (4)$$

$$B(t) = B \left[\frac{U_1 g_1 - U_2 g_2}{(g_1 + g_2)^2 + g_3^2} \right]^Z, \quad (5)$$

где, согласно [8], $\tau = TE^{-\alpha}$; $F(E) = kE^{1-\alpha}$;

S — характеристика интенсивности среды между зеркалами 4, 5 и компонентами 1—3, а также от расстояния h_1 и h_2 зеркал от фоторезисторов 1, 2 (рис. 1); g_1 — проводимость возбуждающего фоторезистора 1 в ячейке; g_2 — проводимость тормозящего фоторезистора 2 в ячейке; g_0 — темновая проводимость фоторезисторов в ячейке; g_3 — проводимость электролюминофора 3 в ячейке; τ — постоянная времени фоторезистора; E_b — освещенность фоторезистора 1 ячейки; E_{ob} — освещенность от возбуждающей подсветки; E_T — освещенность фоторезистора 2 ячейки; E_{oT} — освещенность от тормозящей подсветки; B — яркость электролюминофора ячейки; B, Z — коэффициенты, характеризующие электролюминофор; k — световой коэффициент усиления фоторезистора.

Параметры модели приняты согласно [7] и [8]: $g_0 = 0,59 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1}$; $g_3 = 0,196 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}$; $k = 0,6 \cdot 10^{-6} (\text{Ом лк})^{-1}$; $Z = 4$; $\alpha = 0,4$; $B = 0,12^{-6} \text{ нт В}^{-Z}$.

Расчет показал, что скорость нарастания яркости свечения практически не зависит от U_2 , тогда как спад яркости под тормозящим влиянием фоторезистора 2 наступает тем раньше, чем больше величина U_2 (рис. 2, а). Таким образом, возникновение рефрактерной зоны наступает тем раньше, чем больше U_2 ; соответственно уменьшается ширина волнового фронта. Ширина рефрактерной зоны зависит от инерционности тормозящего фоторезистора 2. Такое же влияние на динамические процессы в модели оказывают величины S_T и τ_2 . При увеличении коэффициента оптической связи S_T между электролюминофором 3 и фоторезистором 2 или при уменьшении инерционности τ_2 фоторезистора 2 ширина волнового фронта уменьшается. Скорость перемещения волнового фронта зависит от времени «разгорания» оптрона при его оптическом возбуждении. Этот параметр целесообразно регулировать при помощи напряжения питания U_1 и тормозящей подсветки E_{oT} . Время нарастания светового фронта уменьшается при уменьшении тормозящей подсветки (рис. 2, б), или при увеличении U_1 (рис. 2, в).

Указанные способы регулирования динамических свойств оптоэлектронной модели положены в основу двумерной линии задержки с регулируемой скоростью распространения оптической волны. В качестве примера использования такой линии задержки рассматривается система управления координацией шагающего механизма, как характерного представителя биоподобных устройств.

2. Оптоэлектронный однородный координатор

Системы управления шагающими механизмами можно разделить на три уровня [9]. Первый уровень образуют блоки выработки сигналов управления двигателями и изменения положения звеньев опор; второй уровень содержит устройство построения походки механизма и стабилизации платформы; третий уровень содержит систему задания скорости движения и типа походки — координатор.

В работе [9] описываются модели мозговых сегментов спинного мозга саламандры, обеспечивающие управление ритмом движения конечностей. Эти модели состоят из моторных (A , B , C) и тормозных нейтронов (a , b , c), объединенных в кольцевую схему и генерирующую сдвинутые по фазе пакеты импульсов. Организованная по кольцевой схеме нейронная сеть выдает на выходе ритмические сигналы в последовательности $A-B-C-D$, получая неритмический приток на входе.

Модели, приведенные в работе [9], есть не что иное, как разновидности регистров сдвига. Аналогичное утверждение приведено в работе [10]. Наблюдения за движениями насекомых также приводят к гипотезе о наличии в их нервной системе волнообразных ритмов, координирующих движение конечностей [11].

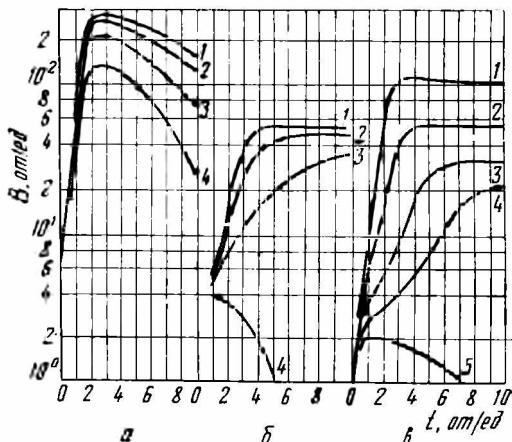


Рис. 2. Зависимость яркости B одной ячейки модели от внешних воздействий: a — влияние напряжения U_2 на процесс разгорания;

1 — $U_2 = 0$; 2 — $U_2 = 20b$; 3 — $U_2 = 50b$; 4 — $U_2 = 100b$; $U_1 = 170b$; $S_b = 1.0$; $S_r = 8.0$; $T_1 = 4$; $T_2 = 7$; b — влияние тормозной подсветки E_{or} ;

1 — $E_{or} = 0$; 2 — $E_{or} = 0.2$ лк; 3 — $E_{or} = 0.5$ лк; 4 — $E_{or} = 1$ лк; $U_1 = 170b$; $U_2 = 0$; $S_b = S_r = 1.0$; $T_1 = T_2 = 4$; b — влияние напряжения U_1 ;

1 — $U_1 = 200b$; 2 — $U_1 = 170b$; 3 — $U_1 = 150b$; 4 — $U_1 = 140b$; 5 — $U_1 = 130b$; $U_2 = 0$; $S_b = S_r = 1.0$; $T_1 = T_2 = 4$.

Исходя из рассмотренных предпосылок и в соответствии с предложенной в [9] классификацией рассмотрим принцип действия и предполагаемую конструкцию оптоэлектронного координатора, выполненного на базе однородной мозаичной модели.

Координатор состоит из двух блоков — командного 1 и исполнительного 2 (рис. 3). Блок 2 содержит однородную нейри-

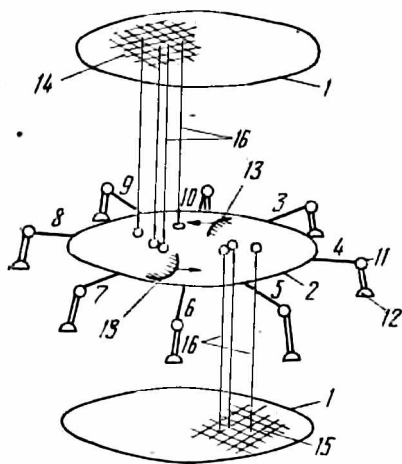


Рис. 3. Схема расположения элементов конструкции и информационных связей координатора: 1 — командные блоки; 2 — исполнительный блок; 3 — 10 — информационные связи координатора с двигателями опор.

сторную светочувствительную структуру. Хотя возможно использование нескольких вариантов конструкций блока 2, принимаем для дальнейшего описания вариант, приведенный на рис. 1, с двусторонней подачей возбуждающих и тормозящих оптических сигналов. На периферии блока 2 подключены входные участки линий связи 3—10, соединяющие координатор с двигателями 11 опор 12. Под влиянием возбуждающих воздействий, поступающих из блока 1, в блоке 2 возникают волны возбуждения 13, перемещающиеся по его поверхности. Команды на включение двигателей поступают из блока 2 при пересечении волной возбуждения 13 областей подключения

линий связи 3—10 к координатору. На командном блоке 1 размещены источники света, разделенные на две группы 14 и 15. Между излучательными поверхностями блока 1 и светочувствительными поверхностями блока 2 расположены оптические линии связи 16, выполненные, например, в форме световолоконных фонов. Проектирование излучателей на нейристорную плоскость производится с небольшой расфокусировкой, при этом изображения на плоскости 2, соответствующие рядом расположенным излучателям, не разделяются неосвещенными промежутками и сливаются в один непрерывный узор. Таким образом, горящие группы излучателей 14 и 15 проектируются на соответствующие участки плоскости блока 2 в форме неразрывных полос. Свет от излучателей 14 попадает на возбуждающие фоторезисторы блока 2; в его структуре возникает световая волна, которая распространяется из освещенной области. Свет от излучателей 15 попадает на тормозящие фоторезисторы блока 2 и уменьшает коэф-

фициент обратной положительной оптической связи вплоть до срыва генераторного режима на оптроне.

Са волной возбуждения, возникающей в блоке 2, в результате внутренней отрицательной обратной связи следует заторможенная зона, благодаря чему волны возбуждения при фронтальном столкновении взаимно гасятся, как это, впрочем, характерно для всех видов нейристоров. Чтобы в нейристорной структуре блока 2 возбудить волну 13, распространяющуюся в одном направлении, участок светочувствительной поверхности нейристорной плоскости освещают лучами двух рядом расположенных линейных групп излучателей 14 и 15. Возникающая волна возбуждения распространяется в сторону, противоположную тормозимой зоне. Для формирования кольцевого пути волны центральная часть блока тормозится под воздействием света, генерируемого соответствующей группой излучателей 15.

Когда волна возбуждения поочередно пересекает во время своего движения места подключения линий связи, то также поочередно срабатывают двигатели опор, управляемые указанными линиями связи. Последовательность и частота срабатывания определяется направлением и скоростью движения волны 13. При необходимости одновременного включения нескольких двигателей опор, на плоскости блока 2 формируют, соответственно, несколько волн возбуждения путем одновременного облучения нескольких участков блока 2 парными группами излучателей 14 и 15.

Поворот механизма производится отключением части линий связи, что приводит к остановке соответствующих двигателей опор. Для этого зона нейристорного кольца, прилегающая к указанным связям, тормозится группой излучателей 15, и циркулирующая волна в заторможенной зоне поддерживается периодической подсветкой небольшой области этой зоны от излучателей 14. Механизм поворачивает вследствие работы незаторможенных двигателей. Скорость движения волны возбуждения по нейристор-у зависит от интенсивности дополнительной постоянно действующей подсветки или напряжения питания.

Очевидно, что в указанном координаторе возможна любая картина перемещения волн (кроме случаев с взаимным встречным проникновением фронтов), что обусловлено большей гибкостью управления исполнительным блоком.

Выполнение координатора на основе однородных оптико-электронных нейристорных элементов и полупроводниковых излучателей позволяет существенно увеличить его надежность, так как однородные системы с волновым принципом работы продолжают функционировать даже при местных повреждениях структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин Ф. Д. Принципы построения оптоэлектронных моделей однородных биологических систем с латеральным торможением и распростра-

- няющимся возбуждением. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 11. Харьков, 1973, с. 95—102.
2. Каган А. Б. Вероятно-статистический принцип нейронной организации функциональных систем мозга. — «Докл. АН СССР», 1964, т. 154, № 5, с. 1231—1234.
 3. Зозуля Ю. И., Червов В. Г., Бугай Ю. П. Непрерывная математическая модель нейронной сети. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 8, 1967, с. 67—71.
 4. Кринский В. И. Фибриляция в возбудимых средах. — В кн.: Проблемы кибернетики. Вып. 20. М., 1968, с. 59—80.
 5. Новикий Ф. Н. Электролюминесцентный трехэлектродный преобразователь изображения с компенсирующим напряжением. — В кн.: Интроскопия. Вып. 1. М., 1967, с. 45—54.
 6. Молчанов А. А. и др. Исследование статистического режима оптрона с положительной обратной связью. — «Электронная техника», 1971, вып. 2, с. 39—41.
 7. Анализ переходных характеристик фоторезисторов как элементов электрической цепи. — «Автоматика и телемеханика», 1969, вып. 2, с. 101—109. Авт.: В. С. Кретулис, П. Ф. Олексенко, С. В. Свечников и др.
 8. Игнатьев М. Б., Кулаков Ф. М., Покровский А. М. Алгоритмы управления работами-манипуляторами. Л., «Машиностроение», 1972. 100 с.
 9. Секей Д. Моделирование спинномозговых нервных механизмов регуляции координированных движений конечностей. — «Проблемы бионики». Харьков, 1973, с. 333—340.
 10. Томович Р. О синтезе самодвижущихся автоматов. — «Автоматика и телемеханика», 1965, т. 26, № 2, с. 298—304.
 11. Самсонов В. А. Экспериментальное исследование перемещений насекомых по поверхности. — 4 Всесоюзная конференция по бионике (тезисы). 1973, т. 6, с. 195—197.

Поступила 20 апреля 1975 г.

УДК 15.370.153

П. И. ЧИНАЕВ, А. М. ШКВАР

БИОНИЧЕСКИЙ МЕТОД КОДИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

1. Состояние вопроса и гипотетический подход

Построение неформальных автоматов на базе параллельных нейроподобных структур и гибридных систем обработки информации существенно зависит от способа представления (кодирования) информации в них. При обработке информации средствами нейроподобного типа возникает потребность соответствия биологическим информационным структурам, обработка информации в которых связана с вычислениями производных сигналов. Целевая функция такого кодирования неизвестна. Ряд авторов [1—2] предлагали различные гипотетические модели обработки информации, связанные с дифференцированием сигналов во времени и в пространстве признаков на различных уровнях обработки.

Предлагались гипотезы кодирования с последующим восстановлением сигналов [3]. Восстановление сигналов в нейронных сетях не имеет места, поэтому авторы предположили, что подобный способ кодирования информации может служить не только для сжатия и последующей обработки информации с целью класси-

фикаций, но и для повышения точности ее представления. Доказательством является то, что нейроподобный элемент имеет аналого-дискретное устройство, обладающее значительными ошибками при передаче информации. Оценка точностных возможностей составляет дополнительный аспект исследования.

2. Разложение сигнала по его информативным признакам

Пусть в нейроподобную структуру вводится для обработки некоторый сложный сигнал $x(t)$. Из-за ошибок измерения он не может быть точно передан в последующие слои структуры. Допустим, он имеет множество информативных признаков $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$, $\rho(t)$, ..., $\sigma(t)$. От этих признаков зависит точность представления сигнала $x(t)$ на интервале (a, b) . Кроме того, признаки должны удовлетворять требованию удобства представления в классифицирующей или решающей нейронной структуре. Покажем, что предлагаемый метод кодирования реализуем при малом числе членов разложения. Из-за ошибок измерения и подачи сигнал $x(t)$ на каком-то уровне передачи преобразуется в $y(t)$, который представляется тем же множеством признаков $\alpha(t)$, $\rho(t)$, ..., $\sigma(t)$.

Функция $y(t)$ может быть представлена в виде ряда

$$y(t) = c_0 \alpha(t) + c_1 \beta(t) + c_2 \gamma(t) + \dots + c_n \sigma(t).$$

Покажем, что при соответствующем выборе коэффициентов c_i $y(t) = x(t)$. Таким образом, получим модель сигнала по признакам. Если функция $y(t) \neq x(t)$ из-за ошибок в сети, то согласно теореме Лангража можно записать

$$\frac{y(t) - x(t)}{h} = \frac{dy}{dt}(t \pm \theta_0 h),$$

где θ_0 , h — малые постоянные величины ($\theta_0 < 1$).

Отсюда

$$y(t) = x(t) + \frac{dy}{dt}(t \pm \theta_0 h) h. \quad (1)$$

Предполагая близость самих функций, естественно предположить близость их производных. Поэтому

$$\frac{\frac{dy}{dt} - \frac{dx}{dt}}{h_1} = \frac{d^2 y}{dt^2}(t \pm \theta_0 h_1),$$

отсюда

$$\frac{dy}{dt}(t) = \frac{dx}{dt}(t) + \frac{d^2 y}{dt^2}(t \pm \theta_1 h_1) h_1. \quad (2)$$

Разложим в формуле (1) $\frac{dy}{dt}(t \pm \theta_0 h)$ в ряд Тейлора и ограничимся двумя первыми членами разложений:

$$\frac{dy}{dt}(t \pm \theta_0 h) = \frac{dy}{dt}(t) \pm \frac{d^2 y}{dt^2}(t) \theta_0 h.$$

Точно так же в уравнении (2) разложим $\frac{d^2 y}{dt^2}(t \pm \theta_1 h_1)$ и снова ограничимся первыми двумя членами разложения:

$$\frac{d^2 y}{dt^2}(t \pm \theta_1 h_1) = \frac{d^2 y}{dt^2}(t) \pm \frac{d^3 y}{dt^3}(t) \theta_1 h_1.$$

В результате подстановок в (1) и (2) разложений находим

$$\begin{aligned} y(t) &\cong x(t) + \frac{dy}{dt}(t) h \pm \frac{d^2 y}{dt^2}(t) \theta_0 h \cong x(t) + \frac{dx}{dt}(t) h + \frac{d^2 y}{dt^2} \times \\ &\times (t \pm \theta_1 h_1) h_1 h \pm \frac{d^2 y}{dt^2}(t) \theta_0 h^2 \cong x(t) + \frac{dx}{dt}(t) h + \frac{d^2 y}{dt^2} \times \\ &\times h(h_1 \pm \theta_0 h) \pm \frac{d^3 y}{dt^3} \theta_1 h h^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Продолжая такое приближение дальше, получим

$$\begin{aligned} y(t) &\approx x(t) + \frac{dx}{dt}(t) h + \frac{d^2 x}{dt^2}(t) h(h_1 \pm \theta_0 h) + \frac{d^3 x}{dt^3}(t) h(h_1 \pm \\ &\pm \theta_0 h)(h_2 \pm \theta_1 h_1) + \dots + \frac{d^n x}{dt^n}(t) h(h_1 \pm \theta_0 h)(h_2 \pm \theta_1 h_1) \dots (h_{n-1} \pm \\ &\pm \theta_{n-2} h_{n-2}). \end{aligned}$$

Так как функция $y(t)$ априори равна сумме признаков, то

$$\begin{aligned} c_0 \alpha(t) + c_1 \beta(t) + c_2 \gamma(t) + \dots + c_{n-1} \rho(t) + c_n \sigma(t) &= x(t) + \\ + \frac{dx}{dt}(t) h + \frac{d^2 x}{dt^2}(t) h(h_1 \pm \theta_0 h) + \dots + \frac{d^n x}{dt^n}(t) h(h_1 \pm \theta_0 h) \dots \\ \dots (h_{n-1} \pm \theta_{n-2} h_{n-2}). \end{aligned} \quad (4)$$

Так как признаки не могут быть эквивалентны между собой, припишем коэффициентам c_i смысл коэффициентов веса

$$\sum_{i=0}^n c_i = 1.$$

Если отдать предпочтение одному признаку, например, $\alpha(t)$, т. е. принять

$$c_0 = 1 - \sum_{i=1}^n c_i, \quad (5)$$

то после подстановки соотношения (5) в выражение (4) получим

$$\alpha(t) + c_1 [\beta(t) - \alpha(t)] + c_2 [\gamma(t) - \alpha(t)] + \dots + c_n [\sigma(t) - \alpha(t)] =$$

$$= x(t) + \frac{dx}{dt}(t)h + \frac{d^2x}{dt^2}(t)h(h_1 \pm \theta_0 h) + \dots + \frac{d^n x}{dt^n}(t)h[h_1 \pm \theta_0 h \dots$$

$$\dots (h_{n-1} \pm \theta_{n-2} h_{n-2})]. \quad (6)$$

Учитывая, что $\alpha(t)$ воспроизводит $x(t)$ с большой точностью исключим их из выражения (6) и таким же способом рассмотрим оставшиеся части. Разделим левую часть на h и поставим условие, что сумма оставшихся коэффициентов c_i не выходит за пределы 0,1. Считая один из коэффициентов соизмеримым с 0,1, получим, например,

$$c_1 = 0,1 - \sum_{i=2}^n c_i.$$

После подготовки c_1 в преобразованное выражение (6) находим

$$0,1 \frac{[\beta(t) - \alpha(t)]}{h} + c_2 \frac{[\gamma(t) - \beta(t)]}{h} + \dots + c_n \frac{[\sigma(t) - \beta(t)]}{h} =$$

$$= \frac{dx}{dt}(t) + \frac{d^2x}{dt^2}(t)(h_1 \pm \theta_0 h) + \frac{d^n x}{dt^n}(t)(h \pm \theta_0 h) \dots (h_{n-1} \pm \theta_{n-2} h_{n-2}).$$

Отсюда

$$\frac{dx}{dt} = 0,1 \frac{\beta(t) - \alpha(t)}{h}, \text{ т. е. } 0,1 \beta(t) = \left[\frac{dx}{dt}(t)h \pm 0,1 x(t) \right].$$

Таким образом, последовательно можно выразить все признаки сигнала $x(t)$ через сам сигнал и производные.

Как видно из разложения, нет необходимости рассматривать много членов разложения (много признаков), так как с точки зрения информативности это не дает результата, а аппаратно требуется усложнение нейронных сетей. В практике достаточно хорошо разработана обработка самого сигнала, но наряду с сигналом целесообразно использовать и его производные, хотя бы первого и второго порядков, так как, не внося излишней избыточности, можно получить дополнительную информацию. Действительно, в точках, где сигнал $x(t) \cong 0$ (исчезающе мал), получить о нем информацию невозможно, в то время как признак, связанный с $\frac{dx(t)}{dt}$ в этих точках наиболее легко реализуется, и информация (не совместимая с первой) будет существенной. Поэтому целесообразно измерять одновременно и $x(t)$ и его производную, т. е. комбинированный сигнал.

Комбинирование признаков является принципом экономичного и высокоточного кодирования. Поскольку признаки являются комбинацией сигнала и его производных, то в дальнейшем можно любой сигнал представить в ряд как сумму его признаков, естественно повторяя и сам сигнал, т. е.

$$x(t) = c_0 x t + c_1 \frac{dx}{dt}(t) + c_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + \dots + c_k \frac{d^k x(t)}{dt^k}. \quad (7)$$

Для периодического сигнала не возникает проблемы точного определения коэффициентов, так как такой сигнал разлагается в ряд Фурье, откуда следует, что и производные будут функциями от гармонических сигналов. Таким образом, последовательность координатных функций

$$x(t), \quad \frac{dx(t)}{dt}, \quad \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$$

может быть принята за ортогональную, т. е.

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^{(k)}(t) x^{(l)}(t) dt = \begin{cases} 0 & k \neq l \\ k = l. \end{cases}$$

В таком случае, помножив основной ряд на $x(t)$, $\frac{dx}{dt}(t)$ и проинтегрировав его на интервале периодически (она совпадает с периодом гармонических сигналов), получим

$$c_k = (-1)^k \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} [x^{(k)}(t)]^2 dt. \quad (8)$$

Для непериодических сигналов $x(t)$ определение коэффициентов таким способом затруднено. В этом случае необходимо для каждого сигнала попытаться отыскать полином, обладающий свойством

$$\int_a^b p_k(t) p_l(t) x(t) dt = \begin{cases} 1 & \text{при } k = l \\ 0 & \text{при } k \neq l \end{cases}$$

при одновременном выполнении условия

$$\frac{d^k x}{dt^k}(t) = p_k(t) x(t). \quad (9)$$

В этом случае последовательность $x(t)$, $\frac{dx(t)}{dt}$ может быть принята за ортогональную и коэффициенты определяются так:

$$c_k = (-1)^k \int_a^b p_k(t) x(t) dt.$$

Таким образом, для высокоточного кодирования достаточно кроме сигнала иметь его производные не выше второго порядка. Это подтверждается и электрофизиологией.

При кодировании таким способом для последующей классификации на практике достаточно брать лишь некоторые наиболее информативные точки членов ряда разложения, такие как максимумы, минимумы функций $x(t)$, $\frac{dx(t)}{dt}$, $\frac{d^2x(t)}{dt^2}$,

точки перегиба и перехода через нуль. Существенно улучшается классификация сигналов при разбиении этих признаков по знакомому принципу.

Учитывая пороговые и другие функции нейроподобного элемента, такие нелинейные преобразования являются для него естественными.

3. Прикладные аспекты метода

В качестве иллюстрации авторы предлагают нейроподобный анализатор состояния человека-оператора по сигналам типа сфигмограммы, отображающей функциональное состояние его сердечно-сосудистой системы.

В данном анализаторе кодирование сфигмограммы производилось методом выделения следующих участков формы кривой:

участков с положительной производной; с отрицательной производной; минимумы и максимумы. В некоторых кривых, например, в электрокардиограмме выделялись еще участки перехода через нулевую линию.

С целью расширить пространство признаков выделялись аналогично из сигналов, полученных путем ее дифференцирования.

Для выделения того или иного участка формы кривой используется только одна транзисторная

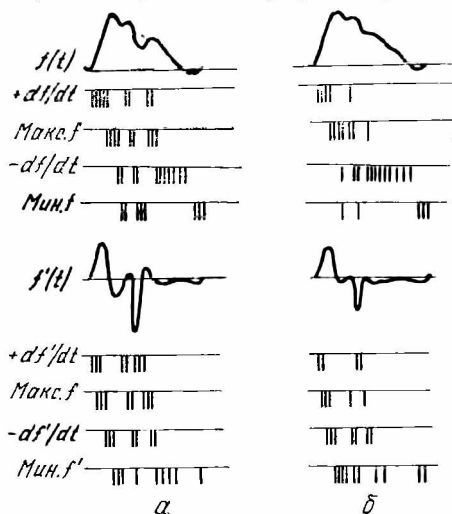


Рис. 1.

модель нейрона. Настройка модели нейрона на выделение заданного участка формы кривой производилась путем регулировки величины порога модели, коэффициента и времени адаптации и весов синаптических входов.

На рис. 1 приведена осциллограмма, наглядно отображающая данный метод кодирования непрерывных кривых с помощью искусственных нейронов. Здесь приняты следующие обозначения: $f(t)$ — сфигмограмма; $f'(t)$ — производная от сигнала сфигмограммы; «мин. f » и «мин. f' » — минимумы соответственно $f(t)$ и $f'(t)$; «макс. f » и «макс. f' » — максимумы соответственно $f(t)$ и $f'(t)$; $\frac{df}{dt}$, $\frac{d^2f}{dt^2}$, $\frac{df}{dt}$, и $\frac{d^2f}{dt^2}$ — участки кривых $f(t)$ и $f'(t)$ соответственно с положительной и отрицательной производной.

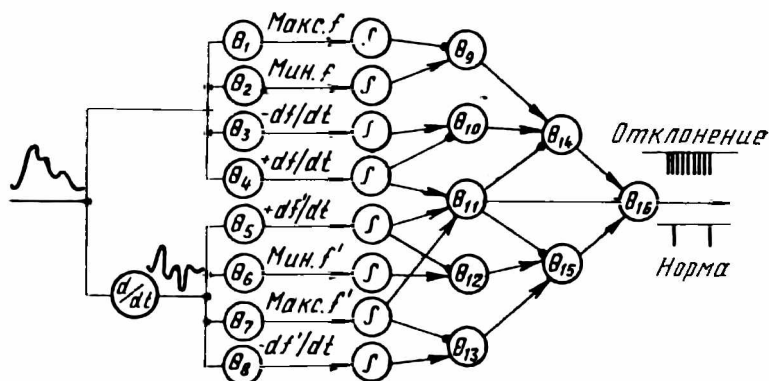


Рис. 2.

На рис. 2 показана нейронная структура анализатора с усреднением информации за пять циклов работы сердца.

Для синтеза классификатора из нейроподобных элементов применялся машинный способ обучения сети, набранной на нейронном процессоре.

Описанный выше метод кодирования информации играет существенную роль и в адаптивных системах управления с нейронными регуляторами [5]. Построение нейронных диагностирующих структур для сквозного контроля динамических систем, основанных на методе кодирования входных и выходных сигналов, описано в [6]. Таким образом, предложенный в статье метод кодирования и сжатия информации в нейронных сетях является эффективным при создании ряда функциональных автоматов неформального типа, а их эффективное функционирование свидетельствует о значительной степени правдоподобия гипотезы авторов об алгоритмах кодирования, сжатия и обработки информации в нейронных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бызов А. П. Электрофизиологические исследования сетчатки. — В кн.: Биологические аспекты кибернетики. М., изд. АН СССР, 1962, с. 38—42.

2. Шквар А. М., Вайнерман Л. И. Инвариантность в бионических системах с анализаторами спектров ортогональных разложений. — Сб. «Материалы 4 Всесоюзного совещания по теории инвариантности и чувствительности в автоматических системах». Ч. II. Киев, изд. АН УССР, 1971, с. 23—29.
3. Пономарева И. Д., Цепков Г. В. Разложение непрерывных функций в степенной ряд. — «Труды семинара «Нейробионика». Вып. 1, Киев, Изд-во АН УССР, 1969, с. 18—26.
4. Чинаев П. И., Иванов-Муромский. Преобразование непрерывных функций с помощью искусственных нейронных сетей — В кн.: Кибернетика и вычислительная техника. Вып. 4. Киев, 1970, с. 49—54.
5. Шквар А. М. Функциональные и структурные аспекты построения некоторых нейронных структур управления. — Сб. «Материалы 4 Всесоюзного совещания по теории инвариантности и чувствительности в автоматических системах». Ч. II. Киев, изд. АН УССР, 1971, с. 56—63.
6. Некоторые аспекты бионического анализа и контроля динамических систем. — В кн.: Кибернетика и вычислительная техника. Вып. 14. Киев, 1972, с. 24—31. Авт.: А. Д. Рябинин, А. М. Шквар, А. И. Шевченко, Л. И. Вайнерман.

Поступила 15 февраля 1975 г.

УДК 62.502.2

В. Н. ЧУДАКОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАЛЬНЫХ И АНОМАЛЬНЫХ ФОРМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВАНИИ КВАНТОВО-ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ КОГЕРЕНТНОЙ МОДЕЛИ МОЗГА. СООБЩЕНИЕ 2

Мы считаем, что ошибочно переносить методы, критерии психологии, психиатрии, нейропсихологии, физической кибернетики, созданные для анализа нормы и патологии интеллекта, на оценки типа интеллекта высокоодаренных и их продукции. Генезис высокоодаренных людей связан органически с аномалиями работы психонейрофизиологических механизмов мозга, т. е. наиболее продуктивные творческие процессы идут вдали от устойчивых стационарных состояний мозга. Аномалию структур мозга можно рассматривать как один из факторов в генерировании и получении существенно новой информации. Наряду с аномальностью у высокоодаренных людей существует компонент одаренности. Именно симбиоз аномалии и одаренности дает в генетическом плане структуру высокоодаренного мозга.

Следующая особенность — это учет бессознательной деятельности мозга в творческих процессах, а также учет физико-кибернетических механизмов в генерировании существенно новой информации. У высокоодаренных совершенно отличные механизмы переходов от *Q* сферы бессознательного к *C* сфере сознания и характерно сильное влияние бессознательной сферы на гибкую перестройку и даже разрушение сферы сознания.

1. Наследственность и одаренность

Пусть имеем множество наследственной информации (генотип), накопленной в результате эволюции организма. Это будет выборочное пространство — генотип. В результате развития мозга происходит реализация наследственной информации в виде анатомо-нейрофизиологических структур, способных перерабатывать разными способами внешнюю информацию. Из выборочного пространства генотипа $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, в результате развития или случайной выборки реализуется серия активных генов (событий-признаков), которые формируют случайные анатомо-физиологические структуры мозга (фенотип). Множество таких анатомо-морфологических самоорганизующих структур мозга образует множество задатков. Под задатками будем понимать анатомо-морфологические нейронные структуры мозга, которые образовались случайным образом и определяются наследственной информацией — генотипом данного индивида. В результате активной деятельности развивающегося индивида его мозг может реагировать на психосоциальные воздействия окружающей среды тем или иным видом одаренности. Под одаренностью будем понимать проявление функционально-связанных комбинаций задатков, выражающихся в производстве определенных видов творческой продукции под влиянием психосоциальной среды. Будем считать, что множество всех возможных задатков M исчерпывает все одаренности, которые могут проявиться у данного индивида. Распределение данной одаренности ξ , среди множества индивидуумов W носит случайный характер. В первом приближении можно считать, что распределение относительно данной одаренности является нормальным или гауссовым [1]. Закон распределения задается плотностью

$$P_{\xi_i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}.$$

Функция распределения одаренности по множеству

$$F_{\xi_i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-a)^2}{2\sigma^2}} du.$$

Параметр σ характеризует социальную среду и является функцией $\sigma = f(x, \Theta, k)$; величина x характеризует уровень развития общества; Θ — уровень способностей и форм мышления; k — уровень установок и стереотипов в данном обществе. Параметр a характеризует количество индивидов со средней степенью одаренности. Параметр σ ограничивает площадь кривой распределения нормальной одаренности. Площади, ограниченные кривой распределения и отсекаемые параметром σ , определяют, с одной стороны, «пустую» одаренность (умственно отсталые), с другой стороны —

высокую одаренность. Совокупность нормальных законов (при различных параметрах α и σ) образует нормальный обобщенный тип одаренности $\xi_{об}$ [2, 3].

На основании экспериментальных фактов [2—4] мы будем считать:

1. Элементарные нейро-физико-психические процессы сильно детерминированы наследственными факторами по сравнению с функциями и формами интеллектуальной деятельности и социального поведения. Задатки психических свойств являются наследственными. Значение наследственности неодинаково для всех черт психофизиологической организации индивидуума.

2. Развитие и поведение индивидов, обладающих пустой или высокоодаренной деятельностью, в большей степени детерминировано внутренними свойствами нейропсихической организации мозга. Индивиды с нормальной одаренностью подвержены в большей степени управлению и влиянию со стороны социальной среды [4].

3. Социальная среда определяет в целом, насколько и в какой степени будут развиваться врожденные задатки.

Интервалы интеллекта. В сообщении 1 мы ввели три основных класса интеллекта и рассмотрели формы интеллектуальной деятельности для нормы и патологии, основываясь на соотношении Q и S структур мозга и на физико-физиологических механизмах, участвующих в переработке информационных потоков. В зависимости от внутренних и внешних условий интеллект из каждого класса может делать переходы из нормы в патологию и аномалию (высокоодаренность). Чтобы охарактеризовать эти переходы, введем понятие интервалы интеллекта, используя концептуальный анализ [5].

Пусть имеем множество альтерирующих переменных $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n$, характеризующих работу мозга в любом режиме. Переменные связываются определенной формой полуфункционала

$$\Phi_v = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \dots, \bar{x}_v, \overset{\vee}{x}_{v+1}, \dots, \overset{\vee}{x}_n\},$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_v$ — существенные переменные для данной деятельности мозга; $\overset{\vee}{x}_{v+1}, \dots, \overset{\vee}{x}_n$ — несущественные. Набор существенных переменных определяет интервал интеллекта. Инверсия существенных переменных и изменение формы функционала во времени характеризует изменение интервала интеллекта.

В физико-нейрофизиологическом плане интервал интеллекта зависит от количества и типа генераторов спонтанного возбуждения нейронных комплексов. В зависимости от соотношения структур, перерабатывающих информацию тем или иным способом, и структур генераторов спонтанного возбуждения мы получаем тот или иной интервал интеллекта.

2. Условия самоорганизации, принцип когерентности-декогерентности

Для самоорганизации нейروпсихических структур интеллекта должны быть выполнены внешние и внутренние условия.

1. Эволюция структур и процессов мозга должна начинаться со случайных событий. Вначале должен существовать сигнальный хаос без какой-либо функциональной организации в громадном разнообразии воспринимаемых, генерируемых видов информации (типов волн-сигналов) [6].

2. Для самоорганизации нейропсихических комплексов требуются инструктивные свойства волн-сигналов, которые выражаются p_i — селективной ценностью, $\tilde{f}_i$ — фазовым вносом, $\tilde{\varphi}_i = (kx - \omega t)$ — пространственно-временными фазами. Инструкция, кроме того, требует информации, которая кодирует определенные функции. К такому типу функций для самоорганизующейся системы должны относиться функции «воспроизведения» или сохранения и когерентности ее собственного информационного содержания. Суть самоорганизации заключается в возникновении и эволюции этой первичной информации, которая кодирует функциональную способность самосохранения и когерентность [7, 8].

3. Информация «порождается» или приобретается в результате отбора или выбора. Это положение характеризует дарвиновский принцип естественного отбора. Математическая сторона данного принципа должна дать физическое объективное обоснование понятия ценности и показать, как связывается выбранный параметр «селекционной ценности» с физическими свойствами системы, включая: а) параметры обобщенных сил и динамического взаимодействия волн-сигналов разного типа; б) определенные физические условия для полной системы. Физическая теория отбора и эволюции структур и процессов мозга может быть рассмотрена как статистическая теория «необратимых» физико-физиологических процессов с ограничениями в виде определенных «правил (операций) отбора», диктуемых специфическими свойствами системы. Когда мы спрашиваем, что делает система отобранной для производства «первичной информации», то ответ должен иметь отношение к некоему возвратному свойству: «Самоорганизующаяся система отбирается для оптимальной способности отбора». Такая способность системы может быть связана с другими функциональными свойствами, структурная корреляция которых дает «вторичную информацию» [7].

Отбор волн-сигналов информации, а также сформировавшихся на их основе нейропсихических комплексов происходит в особых условиях. Наличие неустойчивости, аномалии нейропсихических процессов является необходимой предпосылкой для селек-

тивного роста и эволюции структур мозга и для них справедлив критерий эволюции

$$\int d_x \sigma dV \leq 0,$$

где $d_x \sigma = \sum I_i dX_i$ — дифференциал изменения энтропий; I_i — информационный поток; dX_i — изменение обобщенной силы. Это равенство выполняется только в стационарном состоянии [4].

Принцип когерентности. Понятие когерентности мозга дано в [7, 8]. Под когерентным мозгом следует понимать особую пространственно-геометрическую и топологическую структуру массы мозгового нейроглиального гетерогенного субстракта с такими свойствами, что нейронные процессы, возникающие в разных областях головного мозга, будучи раз согласованными по фазе (когерентно настроены), не рассогласовываются до момента прибытия сигналов к центральным приемно-перерабатывающим областям мозга.

Можно выделить два эффекта когерентности: «бесшумное» выполнение информационных процессов в глобальных масштабах — кибернетический эффект когерентности; недиссипативный характер энергетических процессов, связанный с распределением потоков согласованных по фазе сигналов, которые распространяются по четырехмерному решетчатому пространству мозга, — физический эффект когерентности. Когерентность подразумевает не только предположение об особой структуре дисперсии пространственно-временных сигналов типа $a_i e^{i p_i}$ по нейронным сетям (дисперсия $k(\omega)$ и $\omega(k)$), но и законы дискретно-логических переключений в когерентно настроенных сетях. Благодаря принципу когерентности, глобальные нейронные структуры образуют целостные структуры в силу организованных в них коллективных процессов (одновременное возбуждение или торможение больших масс нейронов, пространственно разобщенных между собой [8]).

Принцип когерентности выражает только интегративность деятельности мозга. Мы его дополняем принципом декогерентности (десинхронизации), который обуславливает локальное свойство мозга. В силу принципа декогерентности происходит рассогласовывание нейронных комплексов. Это приводит к начальной независимости активности отдельных нейронов, что создает возможность формирования новых резонирующих комплексов нейронов. Принцип декогерентности обуславливает особые нейроны (ансамбли) — генераторы спонтанного самовозбуждения. Это пусковые и регулирующие механизмы когерентного мозга.

Принцип когерентности для мозга подтверждается существованием психофизиологических феноменов [7]: 1) образно-зрительная память, т. е. способность восстановления в памяти пространственно-временных картин, гомоморфно соотнесенным

реальным пространственно-временным картинам. Пространственно-временная целостность образов обусловлена топологическими свойствами информационного пространства мозга и проявлением когерентности восприятия и трансформации внешних образов; 2) образно-слуховая память — способность восстановления в памяти слуховых образов пространственно-временных источников звука; 3) зрительно-слуховая образная память — способность восстановления цельных пространственно-временных событий, адекватным реальным динамическим объектам внешнего мира. Цельность пространственно-событийных полей и есть проявление когерентности процессов хранения и восстановления пространственно-временных образов [7].

3. Физико-кибернетические основы интеллектуальных процессов

В основе квантово-волновой теории когерентной модели мозга лежит идея о единой «событийной» кодировке внешнего мира, отражаемого в классических Q и квантово-волновых S нейронных структурах мозга. Функционирование этих нейронных структур мозга приводит к существованию сферы бессознательного (Q -интеллектуальные процессы) и сферы сознательного (S -интеллектуальные процессы). В основе этих структур лежат разные стохастическо-информационные схемы работы нервных сетей. В простейшем случае S формальные нейронные сети типа, например, Мак-Каллока и абстрактные информационные языки, классические ЭВМ не встречаются в неодушевленном мире. Классические ЭВМ и символические системы могут быть сконструированы на базе формальных сетей с высокой степенью точности и надежности, но это является уже конечным продуктом эволюции управляющего аппарата живых систем.

Высокоразвитый мозг воплощает конечный продукт эволюции в классических машинах и искусственных абстрактных языках. Наши символические языки, схемы, операции обманчивы в своей простоте потому, что они достигли этой функциональной простоты только через множество иерархических уровней сложных объединений динамических ограничений, полученных после долгих периодов селективной эволюции информационных физических систем. Эволюция начинается не с формальных S сетей и абстрактных языков, а с интегральной квантовой динамики подмолекулярных Q языков молекулярных систем. Регистрация, чтение и накопление информации первоначально осуществлялось в сложных квантовых молекулярных системах нейронов. В формальных сетях представлена физика накопления и средства выражения (кодирования) информации, но не исследован вопрос чтения и регистрации (трансформации) записей как физический процесс.

Кратко изложим взаимосвязь Q и S структур на абстрактно-математическом уровне [7]. Пусть имеем совокупность n

бинаризованных событий $\check{A} = \{\check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n\}$, где $\check{A}_i = \{A_i, \bar{A}_i\}$, так что $A_i \cup \bar{A}_i = \Omega$, т. е. равно событию „все“ для любого $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$. Схему A мы можем сопоставить с приведенной, но не единственной вероятностной схемой:

$$(A^c) = \left(\begin{matrix} \check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n \\ \check{P}_1, \check{P}_2, \dots, \check{P}_n \end{matrix} \right),$$

где $\check{P}_i = \{P_i, \bar{P}_i\}$, так что $P_i + \bar{P}_i = 1$, ($i \in I$).

В общем случае $\check{P}_i$ может принимать S различных значений при условии нормировки типа $P_i^1 + P_i^2 + \dots + P_i^S = 1$. Однако классическая схема (A^c) не единственная. С не меньшим правом мы могли бы рассмотреть квантовую схему

$$(A^q) = \left(\begin{matrix} \check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n \\ \check{\alpha}_1, \check{\alpha}_2, \dots, \check{\alpha}_n \end{matrix} \right),$$

где все $\check{\alpha}_i = \{\alpha_i, \bar{\alpha}_i\}$; $\alpha_i, \bar{\alpha}_i$ — комплексные величины, но такие, что $\alpha_i \alpha_i^* + \bar{\alpha}_i \bar{\alpha}_i^* = 1$ ($i \in I$, $I = \{1, 2, \dots, n\}$).

Очевидно, в начале эволюции сложных систем были только движения элементарной действующей материи и первые информационные процессы; записи происходили в единичных молекулах на квантовом уровне. По мере усложнения систем усложнялись информационные логические процессы. Сущность первых информационных процессов заключается в пространственной фиксации квантово-волновых сигналов среды, зависимой от времени активности. Активность во времени является источником порождения информации, но сама эта активность застыла (заморозилась) в пространственно-временных свойствах отображающих информационных сред (самоорганизующихся нейронно-глиальных систем мозга).

В начале эволюции мозговых структур был использован единый язык описания — язык квантово-волновой предикатной логики. Он выражен в форме системы операторных уравнений квантовой электродинамики, в форме уравнений Дирака, а в кибернетике он свелся к основной форме интерпретации логических, логико-информационных (вероятностных и предикатных) переменных. Освоение универсального квантово-волнового и классического языка для описания «мозговых» произвольных вероятностных или предикатных систем является средством описания внешнего мира, приближающего этот язык к тем концептуальным структурным описаниям, которые естественны для произвольных структур и систем реальности [8].

Комплексные величины $\check{\alpha}_i$ будем называть дискретно-логическими амплитудами вероятности, не отождествляя их ни со спинами элементарных частиц, ни с какими-либо другими физическими, динамическими, операторными характеристиками объектов микромира. Да и в случае объектов микромира амплитуды задают не сами эти события, а вероятностно предикатные параметры бинаризованных событий. Однако если существует схема A^Q , то должна существовать и квантовая сопряженная схема A^{Q*} , т. е.

$$(A^{Q*}) = \left(\check{A}_1, \check{A}_2, \dots, \check{A}_n \right),$$

$$\left(\check{\alpha}_1^*, \check{\alpha}_2^*, \dots, \check{\alpha}_n^* \right).$$

где $\check{\alpha}_i^* = \{\alpha_i^*, \bar{\alpha}_i^*\}$, так что опять $\alpha_i \alpha_i^* + \bar{\alpha}_i \bar{\alpha}_i^* = 1$, $i \in I$. Схемы A^Q и A^{Q*} в принципе богаче схемы A^C по той причине, что содержат дополнительный параметр. В самом деле, положив

$$\alpha_i = |\alpha_i| e^{i\varphi_i} = \sqrt{P_i} e^{i\varphi_i}, \quad \bar{\alpha}_i = |\bar{\alpha}_i| e^{i\bar{\varphi}_i} = \sqrt{\bar{P}_i} e^{i\bar{\varphi}_i},$$

обнаруживаем, что при $\varphi_i = \bar{\varphi}_i = 0$ или $\rho = 0$ схемы A^Q и A^{Q*} совпадают и по существу не отличаются от схемы A^C .

Ниже мы обсудим смысл величин типа ρ , φ_i , $\bar{\varphi}_i$, где φ_i играют роль бинаризованных вносов. Вероятностное описание «мира событий» A возможно при помощи двух основных типов схем, сопоставляющих «события и меру событий». В схеме A^C сопоставляется событие и вещественная линейно нормированная величина, а в схеме A^Q и A^{Q*} — комплексная квадратно-нормированная величина [8].

Первым был более простой в функциональном смысле способ введения схем типа A^C на базе обычной теории вероятности. Позже квантовая механика сумела описать события микромира, введя схемы типа A^Q .

Таким образом, бессознательные интеллектуальные процессы сводятся к схемам типа A^Q, A^{Q*} . Благодаря этим схемам была построена квантовая, квантово-волновая логика, на основе которой была развита квантово-волновая теория нейронных сетей. Сознательные процессы описываются схемой A^C , в основе которой лежат законы формальной логики. В схемах A^C, A^Q, A^{Q*} кодировка событий одна и та же, что означает, что внешнее воздействие поставляет сенсорным органам последовательности информационных событий $\{A_1, A_1, \dots, A_n, A_n\}$ и представляет их в нейронных S и Q структурах в двух основных формах. Если S и Q нейронные структуры имеют одинаковые входы и кодировку и входные события, способы переработки информации в них резко различаются, т. е. информационная тождественность входов S и Q структур не означает тождественности механизмов

переработки информации. Отличие очень существенно в том смысле, что в Q -структурах генерируется новая информация и они являются источниками продуктивной интеллектуальной деятельности. Q переработка информации носит глобально-интегральный характер, а C переработка — локально-элементарный.

Единая кодировка событий мира может быть сформулирована так: процесс интеллектуальной деятельности мозга обеспечивается универсальным характером кодировки событий внешнего мира в C и Q структурах мозга и его можно разделить на независимые друг от друга процессы сознательной (C процессы) и бессознательной (Q процессы) психической деятельности [7].

Переход Q процессов от сферы бессознательного к C процессам сферы сознательного. Рассмотрим более подробно соотношение C и Q процессов и механизмы переработки воспринимаемых информационных событий (волн-сигналов) внешнего мира. Переход от сферы бессознательного к сфере сознательного, т. е. переход от Q к C процессам происходит без нарушения содержательного параллелизма этих процессов. Согласно шестому постулату квантово-волновой теории когерентно-дуального мозга, объяснение параллелизма Q и C процессов следует искать в том, что в Q и C сетях одни и те же внешние и внутренние события, образы, предметы кодируются различно. Картины внешнего мира, проникая в мозг в Q и C сетях, кодируются одновременно, но так чтобы единая «картинная подкладка» оставалась неизменной. В силу этого, у каждого субъекта создается впечатление, будто его мысли всплывают из ниоткуда, будто они никогда не были в голове. У нас имеются образные и символические коды одновременно, но сознание их происходит значительно позже. Во время сна аппарат сознания случайно включается и осуществляется просмотр того, что хранится в Q сфере, позволяет узнавать лишь отдельные куски и образы реальности, не давая возможности полностью проследживать или восстанавливать причинные или логические связи, т. е. вскрыть в них Q код [8, 9].

Единство кодируемых событий в A^C , A^Q схемах является той информационной базой, которая позволяет мозгу функционировать как аналог квантовой вычислительной машины (сфера Q) бессознательного мышления и как аналог классической вычислительной машины (сфера C) сознательного мышления. Сфера не полностью гомеоморфна ЭВМ. Физические нейроны перерабатывают не сигналы типа $1, 0, 0, 1 \dots 0, 1$, появляющиеся на синапсах, а сигналы динамические $a_1, a_1, \dots, a_i, a_i$ где $a_i = P_i e^{i\varphi_i}$, $a_i = P_i e^{i\varphi_i}$. Фазы φ_i, φ_i воспринимаются как эмоциональные знаки, пороги, расходы. Они определяют знак волны-сигнала (возбуждающий или тормозящий) на синапсе. Эксперименты показывают факт существования бессознательного, и что Q картины, воспринятые в сфере бессознательного, всплывают в аппарате сознания с определенным запаздыванием и затуханием.

Q мозг является не пассивным, а активным, особенно у высокоодаренных людей обладающих сильным ассоциативным свойством [2, 8].

4. Информационные потоки в структурах эвро-реактивных типов

Под эвро-реактивными типами будем понимать те биологические типы людей, которые при известных условиях биологического и социального порядка могут реагировать тем или иным видом одаренности [3].

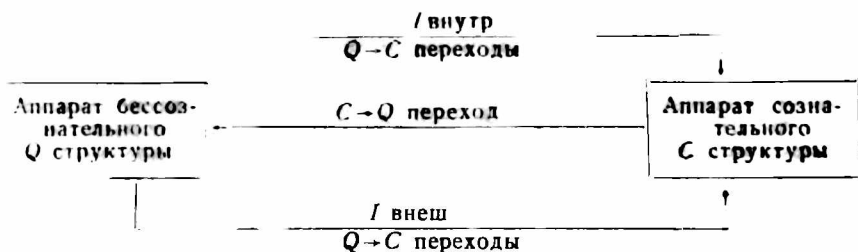
Всю нейропсихику можно разделить на бессознательную (гипостатическую) и сознательную (эпистатическую). Нейропсихические процессы гипостатической нейропсихики находятся в скрытом, бессознательном состоянии. Эти состояния осуществляются Q квантово-волновыми структурами и Q нейронными процессами [2]. Гипостатические состояния — это реакции и отклики нейропсихики, проявляющиеся в виде информационных энергетических потоков, коллективно возбуждаемых нейронными комплексами КАНами. Нормально психически реагирующий человек использует свою психическую информационную энергию лишь постольку, поскольку это целесообразно, экономно для него и для всего биопсихосоциального целого.

В силу этого вырабатывался филогенетически нормализаторный психический аппарат, сознательно регулирующий психическую реактивность бессознательной деятельности мозга. Так появилась сознательная нейропсихика, оперирующая посредством сознания и генерирующая и трансформирующая информационную энергию различными C и $Q \rightarrow C$ комплексами.

Состояния сознания (эпистатические состояния нейропсихики) имеют две инвариантные характеристики. Первая — это проявление всех информационных потоков в единой картине (нормализующее свойство). Проявление C и $Q \rightarrow C$ структурами чувственно-образной информации, вырабатываемой Q структурами, — частично. Вторая — это символическая характеристика. Перевод чувственно-образной информации, вырабатываемой Q квантово-волновыми нейронными структурами в символический код C структур. Строго централизованный и строго сочетательный аппарат сознания, находящийся в древнем стволе мозга, имеет определенный интервал пропускной способности информационных потоков. Психическая реактивность этого регулирующего аппарата имеет свои максимумы и минимумы. Его можно назвать фильтром на информацию Q структур.

Эпистатические свойства аппарата сознания — это тормозящая и ограничивающая система на энергетические и информационные потоки. Рассмотрим эпистатическую нейропсихику как нормальный аппарат сознания (определенные комплексы $Q \rightarrow C$ и C). В аппарат сознания постулат информационная энергия от двух сред. Внешняя информационная энергия $E_{\text{внеш}}$ постула-

ет от органов чувств, которые непрерывно раздражаются воздействиями реального мира. Внутренняя информационная энергия $E_{\text{внутр}}$ возбуждается из памяти или из замороженной информационной энергии в кодах ДНК, РНК и белков структурной информационной энергии $E_{\text{стр}}$. Возбуждается, реконструируется энергия памяти посредством специальных КАНов, например, R -реконейронами. Поток информационной энергии восприятия $E_{\text{внеш}}$ обозначим через $J_{\text{внеш}} = f(E_{\text{внеш}})$, а поток информационной энергии памяти — $J_{\text{внутр}} = f(E_{\text{внутр}})$. Оба потока $J_{\text{внутр}}$, $J_{\text{внеш}}$ образуются в бессознательной сфере нейropsychики. Регуляторно-сочетательный орган, находящийся между Q сферой и C сферой и трансформирующий энергетические потоки от двух сред восприятия и памяти в одну психическую анальгаму, назовем сознанием.



Как правило, $E_{\text{внеш}}$ информационная энергия восприятия является провоцирующим моментом для возбуждения структурной энергии памяти. Бессознательная сфера образует огромное множество структур, перерабатывающих психический материал (пассивный и активный), заключающийся в нашем фило- и антогенетическом опыте. Опыт прошлого записывается в нашем бессознательном аккумуляторе информационной энергии, благодаря которому элементы периферических раздражений внешней среды могут стать осознаваемыми, слившись предварительно с возбуждаемыми волнами-сигналами бессознательного аппарата сознания, как через пропускную систему «сочетательности».

Для нормального отношения между бессознательной Q сферой и сознательной C сферой характерны следующие свойства: а) кумулятивная информационная энергия разворачивается в аппарате сознания в ограниченной дозе, соответствующей пропускной способности нормального аппарата сознания; б) объем вырабатываемой информационной энергии немного превышает пропускную способность аппарата сознания.

Для аномального соотношения между сферой сознания и сферой бессознательного могут представиться два случая. Кумулятивная информационная энергия $E_{\text{стр}}$, возбуждаясь, намного превышает пропускную способность $Q \rightarrow C$ фильтров сознания. Сочетательность аппарата сознания нарушается, т. е. нарушается субординация между сферами. Бессознательная сфе-

ра начинает действовать автономно, не считаясь, с одной стороны, с пропускной способностью аппарата сознания и с ограниченными объемными данными наследственной одаренности — с другой.

Тогда перед нами выступает диссоциированная нейропсихика — психо-невротика или психотика [10]. Диссоциативность психики, которую мы рассмотрели в [10], может выражаться, начиная с легких нарушений контакта между сферами сознания и бессознания (функциональные нарушения $C \rightarrow Q$ и $Q \rightarrow C$ переходов) и кончая формами диссоциативности, когда уже нарушаются функции C и Q структур управления в большой степени. В тяжелых состояниях развертывание структурной информационной энергии может перейти уже в беспорядочные, бессистемные разряды всего аккумулятора сферы бессознания, разрушая на пути структуры аппарата сознания.

Во втором случае бессознательный аппарат высокоодаренного человека, т. е. высокой одаренности и большой проявляющей информационной энергии, при соответствии аппарата сознания вырабатывает систематизированную и упорядоченную творческую продукцию. При этом происходит согласование C и Q сфер.

Различие бессознательной Q сферы высокоодаренных и Q сферы нормальных людей состоит в следующем. 1. Богатство Q структур, вырабатывающих и генерирующих новые потоки волн-сигналов. 2. Самовозбуждение громадных запасов информационной энергии, т. е. существование «раскачивающего» мозговую деятельность механизма. 3. В качественном отношении огромный объем структурированной энергии, отраженной в морфологических и топологических нейронных структурах, стремящейся через самовозбуждающий фактор психотизма проявиться в аппарате сознания. Это обстоятельство дает необыкновенную синтетическую ассоциативную продуктивность подсознательного аппарата высокоодаренных. 4. Бессознательная сфера легко трансформирует, диссоциирует и перестраивает сферу сознания без разрушения функций аппарата сознания. Для эвро-реактивных типов характерна легкая диссоциация психических состояний, т. е. бессознательные творческие процессы происходят параллельно с главным сознательным. Например, Ландау мог решать несколько задач одновременно. Такие многоканальные творческие процессы можно назвать синкинетическими процессами интеллекта. Как правило синкинетические процессы являются критерием высокоодаренности.

Источники образования информационной энергии у эвро-реактивных типов. Наиболее важный источник бессознательных Q нейронных процессов одаренный человек получает посредством механизмов неосознанного восприятия. Физически эти механизмы сводятся: к увеличению размерности воспринимаемых волн-сигналов типа $\dot{a}_i e^{j\varphi_i}$, т. е. к механизму редукции $\langle n/m \rangle$; механиз-

му регенерации волн-сигналов $\langle n/N \rangle = \sum_{m=1}^N \langle n/m \rangle \langle m/N \rangle$ и к механизму изменения пространственно-временных характеристик волн-сигналов $k = k(\omega, x, t)$, $\omega = \omega(k, x, t)$. У высокоодаренных бессознательный механизм устроен так, что он впитывает и трансформирует большое количество информационной энергии раздражений. Следующим источником является генерирование и образование информационной энергии посредством эмоциональных состояний (знаков) $\varphi_i = \rho \overset{\vee}{f}_i$, где ρ — физический параметр оценки единицы информации; $\overset{\vee}{f}_i$ — текущий взнос информации. Посредством эмоционального знака объединяется множество нервных возбуждений, самых разнообразных КАНов.

Но главным источником оцененной информационной энергии является филогенетический опыт. В течение многих лет в результате отбора кодировались перерабатывающиеся нейронные комплексы в структурах ДНК генотипа. Закодированные структуры, а также информационная энергия в бессознательной сфере образует то ядро одаренности, которое в результате деятельности проявляется и жестко фиксируется в период развития.

Таким образом, количественное и качественное различие в бессознательных Q сферах высокоодаренных и нормальных людей сводится к следующему.

В количественном отношении бессознательная сфера высокоодаренных людей отличается громадным объемом информационной энергии и структур, ее генерирующих. Это является результатом родовой кумуляции информационной энергии, а также неосознанным накоплением информации в результате восприятия. В качественном отношении огромный объем аккумулированной информационной энергии стремится разрядиться через аппарат сознания и таким образом воздействовать на него, вплоть до перестройки. Здесь действует механизм психотизма, который стремится перевести мозг из устойчивого стационарного состояния в неустойчивое нестационарное равновесие — режим генерации информационной энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гласс Д., Стенли Д. Статистические методы в психологии и педагогике. М., «Мир», 1976. 460 с.
2. Клинический архив гениальности и одаренности. Вып. 4, т. 1, Л., «Практическая медицина», 1925. 167 с.
3. Клинический архив гениальности и одаренности. Вып. 1, т. 1, Л., «Практическая медицина», 1925. 241 с.
4. Конечный Р., Боухал М. Психология в медицине. Мед., Прага, 1974. 360 с.
5. Чавчанидзе В. В. К абстрактной теории искусственного концептуального интеллекта. — «Труды IV МОКИИ», вып. 1, М., 1976, с. 207—218.
6. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул М., «Мир», 1973. 216 с.

7. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Под ред. Чавчанидзе В. В. Тбилиси, «Мецниереба», 1974. 360 с.
8. Чавчанидзе В. В. К квантово-волновой теории когерентной модели мозга. — В кн.: «Бионика», Киев, 1973, с. 102—112.
9. Бассин Ф. В. Проблема бессознательного (о неосознанных формах высшей нервной деятельности). М., «Медицина», 1970. 460 с.
10. Чудаков В. Н. Классификация нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности на основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 18, Харьков, 1977, с. 46—61.

Поступила 20 мая 1976 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Ефимов В. Н., Клименко А. В., Богатырева Т. М. Качественный анализ динамических свойств нейронных сетей из адаптивных элементов. <i>Сообщение 2</i>	3
Граве П. С. Эмоции с позиций биокибернетики	8
Бондарев В. М., Ловицкий В. А. Классификация интеллектуальных задач. <i>Сообщение 1</i>	11
Ананин В. Ф. Зрительный анализатор как многоконтурная биологическая система связанного автоматического регулирования	19
Исиченко Ю. В., Попова Л. П., Донин Л. Д. О математическом описании иерархической структуры	27
Абрамов О. М., Дрюченко А. Я., Усенко С. А., Шабанов Ю. П. Эффект сглаживания в слухе	31
Чугун А. И., Недзельская Т. А. К вопросу о построении алгоритма синтеза глагольных форм русского языка	37
Шапиро С. И., Сехой С. В., Корнев А. В. К проблеме упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ. <i>Сообщение 1</i>	42
Шапиро С. И., Шилова Е. Н., Барнаган Т. Д. К проблеме упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ. <i>Сообщение 2</i>	55
Бугай Ю. П. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. <i>Сообщение 7</i>	65
Бугай Ю. П. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. <i>Сообщение 8</i>	72
Соловьева Е. А. Общий классификатор личных форм с учетом омографии	81
Чугун А. И. Об одном методе классификации глагольных форм русского языка по типам спряжения	88
Пономарева И. Д. Частотный анализ электрограмм, заданных унитарными кодами	93
Свиридов В. В., Бодянский Е. В., Белая И. М., Кустов И. Ф. О некоторых психологических аспектах деятельности оператора полупроизводникового производства	98
Сергеева Н. К. Определение погрешности вычисления одного функционала при нормализации смещений плоских изображений	103
Пасичный А. П., Пономарева И. Д., Цепков Г. В., Лавриненко В. И. К диагностике функционального состояния растения	108
Чудаков В. Н. Типы нервной системы с точки зрения квантово-волновой теории когерентного мозга	113
Дубинин Ф. Д. Оптоэлектронный прибор для прокладывания трассы по карте	116
Чорноштан Э. П., Сироджа И. Б. Машинная модель классификатора рукописных нормализованных знаков	120
Дубинин Ф. Д. Использование однородной модели биологической системы для управления координацией шагающего механизма	124
Чинаев П. И., Шквар А. М. Бионический метод кодирования сложных сигналов	130
Чудаков В. Н. Классификация нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности на основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга. <i>Сообщение 2</i>	137

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Выпуск 19

Республиканский межведомственный
научно-технический сборник

Редактор *А. П. Гужва*
Обложка художника *И. Ф. Криворучко*
Художественный редактор *Т. П. Воробийко*
Технический редактор *Г. П. Александрова*
Корректоры *Л. А. Федоренко, Е. И. Шевкунова*

ИНФОРМ. БЛАНК 666

Сдано в набор 9. 12 1976 г. Подписано в печать 3. 08 1977 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 3. Усл. печ. л.
9,75. Уч.-изд. л. 10,9. Тираж 1000. Изд. № 484. Зак. 2254.
БЦ 50154. Цена 1 р. 60 к.

Издательство издательского объединения «Вища школа»
при Харьковском государственном университете.
310003, Харьков, 3, Университетская, 16.
Харьковская типография № 16 областного управления
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
310003, Харьков, 3, Университетская, 16.

УДК 62.506.2

Качественный анализ динамических свойств нейронных сетей из адаптивных элементов. *Сообщение 2.* Ефимов В. Н., Клименко А. В., Богатырева Т. М. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 3—8.

Рассматриваются сети из аналоговых адаптивных нейронов. Используя двухэтапный метод анализа динамики нейронных сетей, проведен анализ сетей типа замкнутого контура, с возбуждающими связями, с тормозными связями.

Приведены диаграммы состояний нейронной сети, которые дают возможность по заданным параметрам элементов и максимальному структурному параметру определить динамические свойства нейронной сети в целом.

Ил. 1. Список лит.: 4 назв.

УДК 62—506.222

Эмоции с позиций биокibernетики. Граве Г. С. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 8—11.

Анализируется биологическое значение эмоциональной сферы. Предлагается блок-схемная модель структурных связей эмоций в рамках целостной психики.

Табл. 1.

УДК 62.506.2

Классификация интеллектуальных задач. *Сообщение 1.* Бондарев В. М., Ловицкий В. А. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 11—19.

Рассматривается возможный способ классификации задач на основе определения понятия «задача», предложенного в статье. Дается обзор ряда существующих определений и способов классификации задач.

Табл. 3. Ил. 2. Список лит.: 19 назв.

УДК 62.506.2

Зрительный анализатор как многоконтурная биологическая система связанного автоматического регулирования. Ананин В. Ф. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 19—27.

Зрительный анализатор рассматривается как биологический вариант многоконтурной системы связанного автоматического регулирования.

В состав этой системы входят контуры регулирования зрачкового и аккомодационного рефлексов, контур регулирования рецептивного поля, следящая система глазодвигательного аппарата, контур регулирования динамического диапазона зрительной системы и др.

Ил. 1. Список лит.: 11 назв.

УДК 62.506.2

О математическом описании иерархической структуры. Испиченко Ю. В., Попова Л. П., Донин Л. Д. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 27—31.

Описан подход к построению математической модели иерархической структуры, основанный на применении теории множеств. При этом звеньям иерархической модели соответствует алгебраическая структура-модель (множество M с множеством отношений на нем). Связям между звеньями соответствуют гомоморфизмы моделей.

Ил. 3. Список лит.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Эффект сглаживания в слухе. Абрамов О. М., Дрюченко А. Я., Усенко С. А., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 31—37.

Рассмотрен вопрос о применимости к слуху обобщенного закона Тальбота. Проведенные эксперименты показали справедливость закона Тальбота для слуха в терминах звукового давления.

Ил. 4. Список лит.: 3 назв.

УДК 62.506.2 + 4Р

К вопросу о построении алгоритма синтеза глагольных форм русского языка. Чугун А. И., Недзельская Т. А. — «Проблемы бионики», 1977 вып. 19, с. 37—42.

Рассмотрен метод построения модели синтеза словоформ вне зависимости от их контекста и предложен алгоритм синтеза личных форм невозвратных глаголов русского языка из формы инфинитива.

Табл. 1. Ил. 2. Список лит.: 4 назв.

УДК 62.506.2

К проблеме упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ. Сообщение 1. Шапиро С. И., Цехой С. В., Корнев А. В. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 42—55.

Рассматриваются различные способы упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ, приводятся соответствующие машинные программы. Построенная теоретико-информационная модель механизма удовлетворительно описывает решение задачи упорядочения машиной по способу разбиения на подмассивы: частичное упорядочение, стыковка, доводка-функция $T(p)$.

Табл. 3. Ил. 1. Список лит.: 3 назв.

УДК 62.506.2

К проблеме упорядочения числовых массивов человеком и ЭВМ. Сообщение 2. Шапиро С. И., Шилова Е. Н., Барнаган Т. Д. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 55—64.

Описан массовый эксперимент с человеком на выявление динамики функции $T(p)$ при решении задачи упорядочения числового массива разбиением на подмассивы. Сравниваются логические координаты программы ЭВМ и человеческие эвристики. Экспериментально подтверждается вытекающая из теоретико-информационной модели высокая положительная корреляция функций $T(p)$ у человека и ЭВМ на микро-уровне (для элементарных процессов частичного упорядочения и стыковки) и низкая степень на уровне составных процессов, где в полную меру проявляются специфично человеческие механизмы.

Табл. 7. Ил. 1. Список лит.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 7. Бугай Ю. П. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 65—72.

Описаны функциональные и структурные схемы устройств, позволяющих осуществлять выделение целого ряда отношений между элементами отображаемой ситуации. Обсуждаются возможности применения таких устройств.

Ил. 1. Список лит.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 8. Бугай Ю. П. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 72—81.

Проведен сравнительный анализ традиционных свойств отношений и других возможных способов определения свойств отношений, необходимых для более детального описания отображаемых ситуаций в терминах элементов и отношений. Обсуждается функциональная аналогия процедур, описываемых с помощью интегро-дифференциальных операций, и процедур, описываемых в терминах элементов и отношений между ними.

Табл. 1. Список лит.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Общий классификатор личных форм с учетом омографии. Соловьева Е. А. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 81—88.

Предложена математическая модель функции, реализуемой в процессе морфологической классификации личных глагольных форм по признакам всех

собственно грамматических категорий. Модель универсальна, учитывает случаи полного и частичного совпадения личных форм, использует минимально необходимую информацию о формальной структуре слова.

Табл. 3. Список лит.: 11 назв.

УДК 62.506.2

Об одном методе классификации глагольных форм русского языка по типам спряжения. Ч у г у н А. И. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 88—93.

Предложены действующие модели способностей человека классифицировать личные формы глаголов русского языка по типам спряжения.

Табл. 1. Ил. 1. Список лит.: 6 назв.

УДК 614.1 : 313.13

Частотный анализ электрограмм, заданных унитарными кодами. Пономарева И. Д. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 93—97.

Показано, что для выделения периодической составляющей, а также оценки частотных компонент непрерывной стационарной случайной функции достаточно анализа унитарного кода, где импульсами стандартной амплитуды и длительности отмечены экстремальные моменты. Приводятся результаты анализа электрограмм мозга путем обработки унитарных кодов.

Ил. 4. Список лит.: 4 назв.

УДК 612.821

О некоторых психологических аспектах деятельности оператора полупроводникового производства. Свиридов В. В., Бодянский Е. В., Белая И. М., Кустов И. Ф. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 98—103.

Рассмотрены вопросы формирования концептуальной модели технологических объектов и принятия решений на ее основе. Процедура управления представляется как процесс самообучения оператора.

Ил. 1. Список лит.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Определение погрешности вычисления одного функционала при нормализации смещений плоских изображений. Сергеева Н. К. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 103—108.

Исследуются особенности технической реализации одного алгоритма нормализации смещений плоских изображений, заданных совокупностью точечных объектов.

Список лит.: 4 назв.

УДК 581.1.03 + 577.3

К диагностике функционального состояния растения. Пасичный А. П., Пономарева И. Д., Цепков Г. В., Лавриненко В. И. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 108—113.

Описан метод определения функционального состояния растений путем анализа биосигналов, отводимых от зеленых листьев при скачкообразном изменении внешних условий (освещения). Метод основан на оценке количественных значений коэффициентов дифференциальных уравнений, с помощью которых описываются переходные процессы у растений. Описание иллюстрировано конкретными примерами.

Табл. 1. Ил. 3. Список лит.: 6 назв.

УДК 62.506.2

Типы нервной системы с точки зрения квантово-волновой теории когерентного мозга. Чудakov В. Н. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 113—116.

На основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга рассмотрены типы центральной нервной системы. Построены функциональные зависимости основных свойств типов нервной системы: сила — слабость, подвижность — инертность, уравновешенность — неуравновешенность возбудительного и тормозного процессов в нервной системе. Приведена таблица многооб-

разия типов нервной системы с учетом взаимоотношения классов интеллекта и типов темперамента.

Табл. 1. Список лит.: 7 назв.

УДК 621.3.049.75.001.2—5 : 621.383.93

Оптоэлектронный прибор для прокладывания трассы по карте. Д у б и н и н Ф. Д. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 116—119.

Рассмотрена конструкция и принцип действия аналогового устройства для автоматического нанесения трассы на карту местности или печатной платы. Устройство содержит однородные оптронные планшеты и фотоэлектрический регистратор.

Ил. 2. Список лит.: 5 назв.

УДК 681.142.36

Машинная модель классификатора рукописных нормализованных знаков. Ч о р н о ш т а н Э. П., С и р о д ж а И. Б. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 120—124.

Предлагается математическая модель классификатора, при составлении которой использовался математический аппарат R -функций. Описывается алгоритм, моделирующий работу классификатора, а также приводятся результаты, полученные с помощью этого алгоритма.

Ил. 3. Список лит.: 4 назв.

УДК 62—523.8 : 621.1.033.3 : 621.383.93

Использование однорядной модели биологической системы для управления координацией шагающего механизма. Д у б и н и н Ф. Д. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 124—130.

Рассмотрена оптоэлектронная мозаичная модель двумерного нейростора и ее поведение в переходных режимах.

Приводится пример использования модели для управления биоподобным механизмом с циклическим ритмом операций.

Ил. 3. Список лит.: 11 назв.

УДК 15.370.153

Бионический метод кодирования сложных сигналов. Ч и н а е в П. И., Ш к в а р А. М. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 130—137.

Разработан метод кодирования сложного сигнала путем разложения его по информационным признакам. Предложена схема функционального автомата неформального типа, в котором высокоточное кодирование сигнала производится с помощью самого сигнала и его двух первых производных по времени.

Ил. 2. Список лит.: 6 назв.

УДК 62.506.2

Классификация нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности на основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга. Сообщение 2. Ч у д а к о в В. Н. — «Проблемы бионики», 1977, вып. 19, с. 137—150.

Рассмотрено соотношение между наследственными задатками нервной системы и одаренностью. Введены интервалы интеллекта. Выяснены условия самоорганизации нейронных структур интеллекта. Сформулирован принцип декогерентности, который является дополнением принципа когерентности потоков информации волн-сигналов в нейронных структурах и который выражает десинхронизацию и дисперсию этих потоков, приводя к первоначальной независимости активности отдельных нейронов. Сделана попытка рассмотрения соотношения информационных потоков волн-сигналов в Q и C структурах мозга высокоодаренных.

Список лит.: 10 назв.