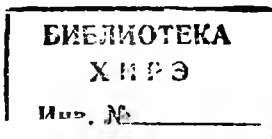


МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Республиканский
межведомственный
тематический
научно-технический
сборник

ВЫПУСК 18



XHYPE Проблемы боники



B-755-3

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. Муришко, Е. П. Путятин, В. Г. Червов (зам. отв. ред.), Ю. П. Шабанов-Кушнарченко (отв. ред.).

Адрес редакционной коллегии:
310218, Харьков, пр. Ленина, 14, институт радиоэлектроники. Тел. 40-96-45.

Проблемы бионики. Респ. межвед. темат. науч.-техн. сборник. Вып. 18. X., «Вища школа», Изд-во при Харьк. ун-те, 1977.

124,4 с. Списки лит. в конце статей.

Сборник посвящен вопросам математического и физического моделирования процессов преобразования информации в анализаторах нервной системы животных и человека.

Описаны результаты анализа особенностей эвристической деятельности человека, возможности моделирования интуиции, особенности нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности, возможности повышения эффективности целенаправленной деятельности операторов систем автоматизированного управления.

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

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

П $\frac{30501 - 400}{M226(04) - 77}$ 426-77

УДК 62.506.2

В. Н. ЕФИМОВ, канд. биол. наук,

А. В. КЛИМЕНКО, Т. М. БОГАТЫРЕВА

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ИЗ АДАПТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. С О О Б Щ Е Н И Е 1.

Цель работы — определение качества переходных процессов в нейронных сетях по структурным параметрам сети и индивидуальным параметрам элементов. В отличие от предыдущих исследований этого направления [1, 2], в которых был сделан анализ динамики нейронных сетей из неадаптивных элементов, в настоящей работе рассматриваются сети из адаптивных нейронов. Метод исследования, применяемый для анализа нейронных сетей из адаптивных элементов, можно распространить также на сети из других типов элементов.

Под адаптацией подразумевается процесс уменьшения выходной активности нейрона при непрерывном воздействии на его входах. Такое свойство у реальных нейронов иногда связывают с изменением порога в зависимости от интенсивности входной импульсации [3, 4]. Однако при этом внутренний контур адаптации включает в себя нелинейное звено (пороговую часть нейрона) и становится разомкнутым в подпороговых режимах работы элемента. Динамические свойства сетей из нейронов с таким механизмом адаптации анализировались ранее [5].

В отличие от этой работы мы рассмотрим динамику сетей из нейронов, имеющих линейный механизм адаптации. На рис. 1 представлены два варианта структурных схем таких моделей нейронов. На обеих схемах блок 1 — безынерционный, алгебраический сумматор входных воздействий. Блоки 2, включающие в себя все инерционные звенья элементов, отличаются только схемой подключения звена адаптации 3.

Передаточные функции обеих схем соответственно имеют вид

$$W_1 = k_1 k_3 \frac{T_p + 1 + a_{01}}{(T_p + 1)(\tau_p + 1)}, \quad (1)$$

где $a_{01} = \frac{k_2}{k_3}$;

$$W_2 = k_1 \frac{(T_p + 1)}{(T_p + 1)(\tau_p + 1) - a_{02}}, \quad (2)$$

$$a_{02} = k_1 k_2.$$

В этих уравнениях $p = \frac{d}{dt}$ — оператор дифференцирования; T и τ — постоянные времени звена адаптации (звено 3) и звена временной суммации (звено 2) соответственно; a_{01}, a_{02} — коэффициенты цепи адаптации, знак которых определяется зна-

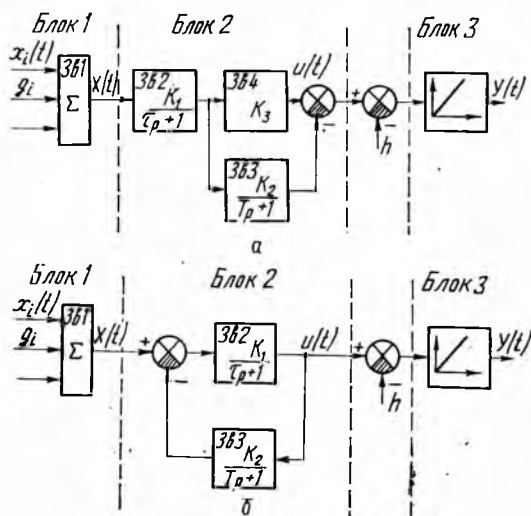


Рис. 1.

ком k_2 ; понижение нейроном выходной активности при длительном входном воздействии возможно только при отрицательных значениях этого коэффициента (значение $a_0 = -1$ соответствует полностью адаптивному элементу). Положительные значения не несут физиологического смысла, но для общности построения модели мы рассматриваем и этот вариант.

Блок 3 — нелинейное безынерционное звено, передаточная функция которого

$$W = \begin{cases} k & \text{при } u(t) > h_0, \\ 0 & \text{при } u(t) \leq h_0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь h_0 — порог нейрона.

Структура общего вида может быть представлена сетью с полным набором связей, описываемых матрицей весовых коэффициентов связей $Q = \|g_{ij}\|_n^n$. Все элементы сети однотипные, параметры блоков 2 одинаковы, параметры остальных блоков произвольные.

На каждый нейрон подается внешнее воздействие $x_i(t)$ с весовым коэффициентом g_{0i} . Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику мембранных потенциалов всех нейронов сети, как и ранее [1, 2], имеет вид

$$[\lambda(p) - a_{ii}] u_i(t) - \sum_{j \neq i}^n a_{ij} u_j(t) = X_i - H_i \quad (4)$$

при $u_i(t) \geq h_{0i}$, где $H_i = h_{0i} \sum_{j=1}^n a_{ij}$.

Эта система уравнений является общей для всех видов сетей. В зависимости от структуры и алгоритма отдельного нейрона меняется вид дифференциального члена $\lambda(p)$ (так как эта функция обратная передаточной функции элемента) и величины обобщенных коэффициентов связи a_{ij} :

$$a_{ij} = k_1 k_3 k_i g_{ij}; \quad \lambda(p) = \frac{a_{ij}}{k_i g_{ij}} \frac{1}{W_1} \text{ для элемента 1,} \quad (5)$$

$$X_i = k_1 k_3 g_{0i} x_i(t);$$

$$a_{ij} = k_1 k_i g_{ij}; \quad \lambda(p) = \frac{a_{ij}}{k_i g_{ij}} \frac{1}{W_2} \text{ для элемента 2.} \quad (6)$$

$$X_i = k_1 g_{0i} x_i(t).$$

Совокупность обобщенных коэффициентов связей образует матрицу $A = ||a_{ij}||$. Структура с неразложимой матрицей связи A соответствует элементарному ансамблю. Если матрица связи A разложима, то структура состоит из нескольких ансамблей. Характеристическую систему уравнений для (4) запишем так:

$$(\lambda - a_{ii}) - \sum_{j=1}^n a_{ij} = 0, \quad (7)$$

$$c = 1, 2, \dots, n.$$

Ее матрица представляет собой характеристическую матрицу $||\lambda \delta_{ij} - a_{ij}||$ ($\delta = 1$ при $i = j$; $\delta = 0$ при $i \neq j$) для матрицы связи A . Следовательно, характеристические числа матрицы A , которые в общем случае комплексны, будут удовлетворять главному определителю системы (7).

Далее необходимо найти корни p_i системы уравнений (7), которые определяются путем решения уравнений (5), (6) относительно p при последовательной подстановке в них полученных характеристических чисел. Поскольку эти уравнения второго порядка, то каждое характеристическое число λ_m даст два корня. Для сетей из элементов 1-го типа (рис. 1, а) корни системы уравнений определяются так:

$$2\tau p_{1,2} = \lambda_m - 1 - \delta \pm \sqrt{(\lambda_m - 1 + \delta)^2 + 4a_{01}\delta\lambda_m}, \quad (8)$$

а для сетей из элементов 2-го типа —

$$2\tau p_{1,2} = \lambda_m - 1 - \delta \pm \sqrt{(\lambda_m - 1 + \delta)^2 + 4a_0\delta}; \quad (9)$$

$$m = 1, 2 \dots n \quad \delta = \frac{\tau}{T}; \quad T \gg \tau.$$

Таким образом, совокупность $2n$ корней позволяет полностью определить собственные переходные процессы в данной сети.

Из теории [6] известно, что в установившемся режиме (при $t \rightarrow \infty$) характер собственных движений в системе определяется корнем с максимальной действительной частью, который называется доминирующим. По расположению на комплексной плоскости этот корень является самым правым.

Если доминирующий корень действительный, то собственные движения имеют аperiodический характер; если же этот корень комплексный (пара сопряженных корней), то имеем в системе колебательные процессы. Если доминирующий корень (пара корней) расположен слева от мнимой оси, то система устойчива, в противном случае — неустойчива.

Следовательно, имеем четыре возможных вида движений в системе: неустойчивые колебания (НК) (для системы из нелинейных элементов с порогом такое состояние соответствует режиму автоколебаний [5]); устойчивые, затухающие колебания (УК); устойчивая аperiodика (УА); неустойчивая аperiodика (НА).

Уравнения (8), (9) показывают, что величина и характер взаимного расположения корней на комплексной плоскости зависят от двух индивидуальных параметров элемента — отношения постоянных времени $\delta = \frac{\tau}{T}$ и коэффициента цепи адаптации a_0 — и от особенностей структурной организации нейронов, которая представлена совокупностью чисел $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_m \dots \lambda_n$ матрицы A . Так как эти характеристические числа отражают характер и особенности связности элементов в сети, то их можно рассматривать как структурные параметры.

Таким образом, анализ собственной динамики нейронных сетей можно разделить на два этапа. На первом этапе определяют локализацию и взаимное расположение характеристических чисел матрицы A нейронной сети. На втором — выявляются свойства преобразования плоскости характеристических чисел в плоскость корней в соответствии с алгоритмом элемента (уравнения (8), (9)) и определяется характеристическое число, дающее доминирующий корень.

Целесообразность и удобство такого поэтапного анализа динамики системы заключается в том, что, во-первых, решение первого этапа можно производить не численными методами, а на базе имеющихся в теории сведений о локализации характеристических чисел различных классов матриц [7, 8]; во-вторых, можно выделить динамические свойства, зависящие от структурной органи-

зации сети и от собственных параметров элементов: в-третьих, производить качественный анализ динамики систем, имеющих одну и ту же структуру, но разные алгоритмы элементов, или систем с различными структурами, но состоящих из одинаковых элементов.

Предлагаемый метод ограничивается только анализом корневой системы (левая часть (4)). Следовательно, анализируется динамика собственных движений в системе без учета вынужденной составляющей (правая часть (4)).

С помощью изложенного метода был проведен анализ целого ряда структур. Рассмотрены частные случаи — нейронные сети, матрицы которых имеют действительный спектр характеристических чисел, и сети, характеристические числа которых находятся на окружности, а также общий случай, когда на спектр характеристических чисел не наложены никакие ограничения.

Сети с действительным спектром характеристических чисел. Из теории [7, 8] известно, что действительный спектр характеристических чисел имеют симметрические матрицы ($a_{ij} = a_{ji}$) и, в частности, однородные структуры $a_{ij} = a$. В общем случае такие матрицы соответствуют сетям с равным тормозным или возбуждающим взаимодействием между любой парой нейронов.

Действительный спектр характеристических чисел имеют Якобиевы или тридиагональные матрицы ($a_{ij} = 0$, если $|i - j| \geq 2$). Такие матрицы соответствуют латеральным сетям, элементы которых взаимодействуют лишь с ближайшими соседями.

Для сетей такого класса характеристические числа расположены на отрезке действительной оси, ограниченном максимальным λ_{\max} и минимальным λ_{\min} характеристическими числами.

По формулам (8), (9) для действительного спектра характеристических чисел λ можно построить семейство кривых различных значений индивидуальных параметров a_0, δ . По этим кривым определяется значение корней системы, соответствующее любому действительному характеристическому числу. На рис. 2 представлены такие кривые фиксированных значений индивидуальных параметров $a_0 \delta (a_0 < 0)$ сетей из элементов второго типа.

На оси абсцисс λ можно выделить пять зон. Их границы указаны на рис. 2 пунктирными линиями. Любому характеристическому числу зоны 1 или 5 соответствуют два действительных корня, величина которых определяется по асимптотическим кривым. Характеристические числа зон 2, 3, 4 дают по два комплексно-сопряженных корня $p_8 = a_8 \pm i\beta_8$. Их действительные

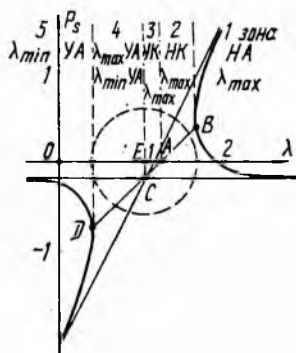


Рис. 2.

части a_s определяются по прямой $ДВ$, а мнимые части $\pm \beta s$ — по окружности с центром в точке E и с диаметром $d = 4\sqrt{|a_0|\delta}$.

Пользуясь данной диаграммой, можно найти все $2n$ корней системы (4). Необходимо, однако, выявить характеристическое число, дающее доминирующий корень p_{\max} , величина и вид которого определяет динамические свойства системы.

Если значение λ_{\max} попадает в зоны 1, 2 или 3, то независимо от расположения остальных характеристических чисел λ_{\max} дает доминирующий корень. При этом в случае, когда λ_{\max} находится в первой зоне, система является неустойчивой апериодической (доминирующий корень действительный и положительный). Колебательные системы устойчивого или неустойчивого типов имеют λ_{\max} в зонах 3 и 2 соответственно. Если же значение λ_{\max} попадает в зону 4, то доминирующий корень определяется этим значением лишь тогда, когда весь спектр характеристических чисел находится в зоне 4. При этом в системе наблюдаются устойчивые затухающие колебания. Если спектр находится в зоне 4 и 5, то определяющим числом может быть λ_{\min} . Для структур, спектр характеристических чисел которых полностью расположен в зоне 5, доминирующий корень определяется λ_{\min} . При этом система в целом устойчивая и апериодическая. Таким образом, видно, что ширина зон 3 и 5 может увеличиваться за счет зоны 4. Например, для нейронных сетей из элементов с сильными собственными обратными связями ($a_{ii} > a$) изменяется ширина зоны 3, а для сетей из элементов со слабыми обратными связями ($a_{ii} \ll a$) — зоны 5.

На рис. 2 указаны для каждой зоны характеристическое число, определяющее доминирующий корень, и соответствующий ему тип движения в системе.

Для сетей из элементов второго типа расположение асимптот $\alpha_1 = -2\delta$, $\alpha_2 = 2(\lambda - 1)$ и центра $E(1 - \delta, -2\delta)$ асимптотических ветвей на плоскости зависит лишь от временного параметра элементов сети δ , т. е. при изменении коэффициентов адаптации элементов изменяется лишь расстояние между вершинами ветвей ($4\sqrt{|a_0|\delta}$). Тем самым изменяется только зона комплексных корней системы.

Для сетей из элементов первого типа от коэффициента адаптации зависит не только расстояние между вершинами ветвей но и расположение асимптот ($\alpha_1 = -2(\delta + a_0\delta)$, $\alpha_2 = 2(\lambda - 1 - a_0\delta)$) так, при увеличении $|-a_0|$ центр ветвей перемещается по прямой $\alpha = \lambda - (1 + \delta)$ вправо вверх, т. е. при увеличении $|-a_0|$ устойчивость системы повышается.

Изменяя величину индивидуальных параметров a_0 , δ , можно менять ширину и даже наличие зон 2, 3, 4. Так, для сетей и 2-го типа элементов ширина зоны 3 изменяется пропорционально величине δ , для сетей из элементов 1-го типа ширина этой зоны

зависит и от значений адаптивного параметра a_0 ; с уменьшением отрицательного значения a_0 ширина зоны 3 уменьшается, а при $a_0 = -1$ эта зона вообще отсутствует.

Из диаграмм видно, что граница устойчивости системы для значений индивидуальных параметров $-1 < a_0 < 0$, $0 < \delta < 1$ проходит по линии $\lambda_{\max} = 1 + \delta$. Значения $a_0 < -1$ рассматривать не имеет смысла, так как $a_0 = -1$ соответствует полной адаптации, при которой элемент не реагирует на постоянную составляющую.

В качестве примера рассмотрим динамику однородной нейронной сети ($a_{ij} = a$), причем если возбужден ансамбль из n нейронов, то $(n-1)$ характеристических чисел находятся слева от мнимой оси и величина их равна величине обобщенного коэффициента связи, взятого с обратным знаком ($-a$), а одно характеристическое число находится справа от мнимой оси и его величина равна $(n-1)a$, т. е. зависит от числа элементов в возбужденном ансамбле. Следовательно, увеличивая число элементов в ансамбле или вес связей a , можно влиять на его динамику, причем получать при этом все 4 вида движений в системе: УА — зона 4, 5; УК — зона 3, 4; НК — зона 2; НА — зона 1.

Таким образом, для сетей с действительным спектром характеристических чисел доминирующий корень, а следовательно, и динамика всей сети в целом определяется экстремальными значениями характеристических чисел либо λ_{\max} , либо λ_{\min} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. Hartline H. K., Ratliff F. Inhibitory interaction of receptor units in the eye of *Limulus*. — *J. Gen. Physiol.*, 1957, v. 40, p. 357—376.
4. Salmoiraghi G., Baumgarten R. Intracellular potentials from respiratory neurons in brainstem of cat and mechanism of rhythmic respiration. — *J. Neurophysiol.*, 1961, v. 24, № 2, p. 302.
5. Колебательные процессы в сетях из адаптивных нейронов. — В кн.: Проблемы адаптивного управления. Ростов-на-Дону, 1974, с. 175—191. Авт.: В. Н. Ефимов, Б. Ф. Филимонов, Ю. В. Терпугов, Т. М. Богатырева.
6. Теория автоматического регулирования. Под ред. В. В. Солодовникова. Т. I. М., «Машиностроение», 1969, 301 с.
7. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М., «Наука», 1967. 603 с.
8. Маркус М., Минк Х. Обзор по теории матриц и матричных неравенств. М., «Наука», 1972. 182 с.

Поступила 8 декабря 1975 г.

Ю. И. ЗОЗУЛЯ, канд. техн. наук

СОГЛАСОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БИОНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ЦИКЛАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Попытки практически использовать выводы теории согласования (координации) целевых функций [1] и теории согласования отношений вход—выход [2] абстрактных систем для анализа сложных бионических систем, включающих в себя человека, встречают значительные трудности, поскольку последние обладают настолько тесными и тонкими связями с окружающей средой, что замена естественной среды —средой искусственной, необходимой для определения целевых функций или отношений вход—выход, приведет к изменению сущности исследуемого объекта. Эта неотделимость сложной бионической системы от окружающей среды требует разработки эффективной теории согласования циклов (замкнутых путей преобразования сигналов), которая по необходимости должна включать в себя в качестве элемента и наблюдателя. В этой теории складывается положение, аналогичное положению в квантовой механике [3], поэтому можно надеяться на проведение плодотворных аналогий между квантовой механикой и теорией согласования циклов. Однако в последней имеется большая потребность в развитии статистических методов анализа объектов, иначе эта теория окажется неэффективной при анализе любой конкретной единичной бионической системы.

Поскольку практическое использование теории согласования циклов предполагает действие (любого, кто пользуется этой теорией, в том числе и автора данной статьи) в естественной среде (которую он сам пока не может контролировать и предсказывать с требуемой степенью точности), то приходится на веру принимать некоторые исходные предположения о сущности бионических систем, предположения, которые должны быть доказаны в самом ходе использования теории. Эти исходные предположения можно расчленивать и сформулировать в виде трех принципов

- 1) принцип потенциальной замкнутости бионических систем
- 2) принцип потенциальной согласуемости элементов бионической системы;
- 3) принцип актуальной сходимости процесса согласования элементов бионической системы с требуемой степенью точности

Первый указывает на возможность замыкания любой открытой бионической системы путем принятия во внимание неучтенных элементов. Второй оценивает наши возможности в реорганизации бионической системы как достаточные. Третий принцип отражает переход мысли от веры к уверенности в существовании действий каждого отдельного человека, включенного так ил

иначе в бионическую систему, и в достижимости поставленных им целей согласования. На основании этих предпосылок можно сформулировать основные положения теории согласования.

Элементы теории согласования. Идея согласования систем наиболее прозрачно выступает при телеологическом подходе к описанию абстрактной системы [1] и понимается в рамках этого подхода как идея достижения наилучшего в некотором смысле взаимодействия систем.

Если ввести представление о множествах возможных затрат каждой из взаимодействующих систем при тех или иных режимах их работы и упорядочить эти затраты с помощью некоторого отношения порядка, то можно сформулировать проблему согласования в простейшем виде как задачу достижения наименьших затрат каждой из согласуемых систем.

Если для каждой из взаимодействующих систем известно множество входных сигналов и отображение его на множество возможных затрат данной системы, т. е. известна целевая функция, то тем самым на множестве входных сигналов i -й системы X_i порождается ее целевой функцией некоторая ядерная эквивалентность R_i , а отношение порядка между элементами множества возможных затрат i -й системы преобразуется в некоторое отношение порядка A_i на множестве входных сигналов. При этом для входных сигналов $x_i \in X_i$, обеспечивающих наименьшие затраты i -й системы, выполняется условие

$$R_i \subseteq A_i. \quad (1)$$

Если множество N взаимодействующих систем замкнуто, т. е. влияние со стороны внешней среды не учитывается, и системы при всех преобразованиях сигналов сохраняют наименьшие затраты, то в любом цикле преобразования сигналов, начинающемся и заканчивающемся на входе произвольной i -й системы, соответствующее отношение цикла S_{ii} , равное некоторой композиции отношений вход—выход S_j отдельных согласованных систем, удовлетворяет условию

$$S_{ii} = R_i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

В более общем случае системы могут быть названы согласованными, если существует однозначное соответствие между отношением цикла и отношением порядка на множестве сигналов каждой i -й системы

$$S_{ii} \leftrightarrow A_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где \leftrightarrow — знак соответствия. Отношение цикла S_{ii} тогда представляет собой второе отношение порядка на множестве X_i (иначе нельзя было бы сопоставлять эти отношения, устанавливая соответствие между их свойствами), согласованное с первым отношением порядка A_i . Множества с несколькими отношениями

порядка играют важную роль в математической лингвистике [4].

В простейшем случае, например, при согласовании двух систем, у которых вход одной отождествлен с выходом другой, могут выполняться условия

$$S_{11} = S_2 S_1 = R_1; \quad (4)$$

$$S_{22} = S_1 S_2 = R_2.$$

Поскольку многократное циклическое преобразование сигналов в циклах взаимодействия согласованных систем сводится к возведению в соответствующую степень отношений циклов S_{ii} , то, ослабляя требование (3), условие согласования можно записать в виде

$$S_{ii}^m \leftrightarrow A_i^n, \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где m, n — целые числа.

Если $\frac{n}{m} = k$ — целое число, то процесс перехода взаимодействующих систем в режим с наименьшими затратами для каждой из систем является равномерно сходящимся. Если же k является дробным числом, то процесс сходится неравномерно. Дальнейшее обобщение позволит проанализировать расходящиеся процессы при иррациональных числах k .

Легко показать, что (5) дает некоторое расширение понятия о регулярных полугруппах отношений [5]. Например, в простейшем случае из (4), учитывая транзитивность отношения эквивалентности, можно получить соотношения

$$(S_1 R_1) S_2 (S_1 R_1) = S_1 R_1; \quad (S_2 R_2) S_1 (S_2 R_2) = S_2 R_2. \quad (6)$$

Элементы $S_1 R_1, S_2 R_2, S_1, S_2$ входят в регулярную полугруппу с ассоциативным умножением отношений, т. е. для каждого S_1 (или S_2) найдется такое обратное отношение $S_2 R_2$ (или $S_1 R_1$), что будет выполняться равенство (6).

Если вход каждой i -й системы связан только с ее выходом, т. е. системы автономны, то $S_{ii} = S_i$ и соотношение (5) сводится к

$$S_i^m \leftrightarrow A_i^n, \quad i = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Если все системы соединены последовательно, т. е. жестко связаны, то отношение цикла для входа i -й системы может быть получено в результате циклической перестановки композиции отношений вход—выход отдельных систем, упорядоченных числовыми индексами в порядке перехода в цикле взаимодейст-

вия от одной системы к другой, начиная с произвольной из них, $S_1 S_2 \dots S_N = \prod_1^N S_j$. Тогда соотношение (5) запишется в виде

$$\left(\prod_1^N S_j \right)^{m_i} \rightarrow A_i^{n_i}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где \prod — знак операции циклической перестановки отношений.

В более общем случае, имеющем место в окружающей нас действительности, все системы являются частично автономными и частично связанными. Простейшее наблюдение показывает, что при достижении всеми системами наименьших затрат они могут рассматриваться как полностью автономные, и тогда для них справедливы соотношения

$$S_i^{m_i} = R_i^{n_i} = R_i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (9)$$

При рассогласовании, разбалансе, десинхронизации все или часть взаимосвязанных систем теряют свою автономию и оказываются сильно связанными. Если затем системы вновь могут прийти в режим с наименьшими затратами, то путем введения рассогласования принципиально можно выявить связи между собственными циклами этих систем.

Поскольку сигналы, циркулирующие в собственных циклах одних систем, влияют взаимно на преобразование сигналов в собственных циклах других систем, то имеет смысл ввести представление о внешних циклах, или циклах взаимодействия систем, а также определить свойства бинарных операций, отражающих взаимодействие собственных циклов и циклов взаимодействия систем. Во внешнем цикле (цикле взаимодействия) системы могут быть тогда эквивалентно представлены как некоторые последовательно соединенные жестко связанные подсистемы с соотношениями вход—выход S_j^* . При этом в режиме с наименьшими затратами для собственных циклов систем должно выполняться соотношение (9), а для каждого k -го цикла взаимодействия, включающего в себя N_k систем, — соотношение

$$\left(\prod_{1_k}^{N_k} S_j^* \right)^{m_{kl}} = R_{kl}, \quad l = \overline{1, N_k}, \quad (10)$$

где R_{kl} — отношение эквивалентности, порожденное функцией цели и бинарными операциями связи l -й системы на множестве входных сигналов этой системы.

Более того, можно, опираясь на наблюдения, сказать, что соотношение (10) может выполняться даже при потере автономии отдельными системами цикла взаимодействия, потому что внешний цикл обычно обладает большей устойчивостью, чем

отдельные собственные циклы входящих в него частично автономных систем. Такая повышенная устойчивость естественно должна отражаться в свойствах отношения эквивалентности R_{kl} : оно должно быть шире отношений эквивалентности R_l отдельных подсистем цикла взаимодействия

$$R_l \subset R_{kl}, \quad l = 1, \overrightarrow{N}_k. \quad (11)$$

Реже встречаются случаи, когда отдельные подсистемы в цикле взаимодействия обладают большей устойчивостью, чем весь цикл, и могут при его разрушении переходить неизменными в другие циклы взаимодействия.

Естественно, что применяя системный подход, можно сделать дальнейшую декомпозицию собственных циклов систем на циклы элементов, из которых они состоят, или рассмотреть последовательность внешних циклов, в которые собственный цикл данной системы косвенно входит. В результате использования этого подхода можно на множестве входных сигналов X_i каждой системы породить упорядоченную отношением включения

совокупность отношений эквивалентности $\bar{R} = \{R_p\}$, т. е. задать решетку (структуру) отношений эквивалентности, причем такая решетка должна исчерпывающе охарактеризовать отношение вход—выход данной системы S . Конечно же, упорядоченный набор отношений эквивалентности на множестве X можно однозначно связать с иерархией целевых функций, целей системы [1]. Формально можно поставить задачу изучения отношения S реальной бионической системы как задачу спектрального анализа отношения по аналогии со спектральным анализом операторов, широко используемым в квантовой механике. В то же время такой спектральный анализ отношения S в связи с порождением решетки отношений эквивалентности можно рассматривать как структурный анализ отношения, и использовать запись [6]

$$S = \{St, \bar{R}\}, \quad (12)$$

где по определению S — отношение системы; St — структура системы; \bar{R} — конституэнта отношения, или набор отношений эквивалентности, удовлетворяющий взаимно-однозначному соответствию

$$(\exists_p)[x' S^m p x \langle \Rightarrow \rangle x' R_p x]. \quad (13)$$

Согласование в отдельном p -м цикле взаимодействия дает возможность упростить представление реальной системы и вместо отношения S рассматривать отношение $R_p S^m p R_p$:

$$x'_p R_p S^m p R_p x_p \langle \Rightarrow \rangle (x'_p R_p x'_p \cap x'_p S^m p x \cap x R_p x_p). \quad (14)$$

В сведении отношения S к множеству отношений $\{R_p S^m R_p\}$ и состоит многоуровневый анализ систем [7].

В качестве элементов $x_p, x'_p \in X$ могут рассматриваться некоторые наблюдаемые в бионической системе величины, действия, состояния или их имена. Для бионических систем, включающих в себя человека, в качестве универсальных элементов естественно рассматривать непосредственно данные субъекту его психические состояния, которые при наличии согласования человека с окружающей средой отражают однозначно, зеркально объекты внешнего и внутреннего мира¹. В этом случае отношение S' устанавливается между отдельными психическими состояниями, в которых может находиться субъект. Если каждому субъекту присущи свои собственные психические элементы, то отношение S всегда объективно и характеризует структуру St связей объектов в материальном мире инвариантно по отношению к психическим состояниям. Каковы бы ни были психические состояния, решение задачи согласования требует лишь сохранения состояний, при которых потери наименьшие. А для этого необходимо сравнение, установление эквивалентности психических состояний. В этих целях может быть использован, например, ноль-метод [8].

Поскольку в бионической системе только для людей можно достаточно точно определить их психическое состояние, все остальные технические и биологические элементы и подсистемы имеет смысл рассматривать подчиненными, лишь как преобразователи психических состояний субъектов, как дополнительные к человеку в цикле взаимодействия объекты. Изучая их, человек все же стремится наделить их состояниями, целями, однако это только аналогия. Исходным же для понимания метода человеческого познания, метода человеческого мышления является анализ взаимодействия человека с человеком, их общения, которое наиболее ярко выражено в личном общении — диалоге.

Диалог связывает циклом взаимодействия два частично автономных собственных цикла, в каждом из которых осуществляется преобразование внутреннего психического состояния одного из участников диалога. Для того чтобы диалог был эффективным, чтобы в общении можно было передавать или навязывать собеседнику определенное психическое состояние, т. е. смысл, необходимо иметь развитую форму общения в цикле взаимодействия, определенный язык. Основную роль в языковом общении играет слово.

Вспомним, что пока человек слушает другого человека, он сохраняет неизменным свое состояние. Как только его состояние начало изменяться, он уже не слушает, а думает или гово-

¹ Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии. М., Политиздат, 1969. 392 с.

рит. Пусть знаки «+» и «.» обозначают бинарные операции, связывающие цикл взаимодействия двух систем, моделирующих участников диалога, с их собственными циклами (рисунок); x — состояние слушающего человека, $\{y_i\}$ — последовательность состояний говорящего человека. Тогда после n тактов (перемен состояния говорящего) слушающий получает сигнал:

$$p(x) = y_n + x(y_{n-1} + x(y_{n-2} + \dots + xy_1)). \quad (15)$$

Если выполняется дистрибутивный закон для операции «.» относительно операции «+», то

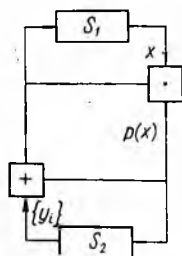
$$p(x) = y_n + xy_{n-1} + x^2y_{n-2} + \dots + x^{n-1}y_1 = \sum_1^n y_i x^{i-1}. \quad (16)$$

Итак, слушающий в этом случае воспринимает сигнал в виде обобщенного полинома, в котором последовательность $\{y_i\}$ состояний говорящего выступает в качестве коэффициентов, а состояние слушающего играет роль независимого переменного. Коэффициенты y_i можно назвать словами, а функцию $p(x)$ — смыслом последовательности слов $\{y_i\}$ говорящего для слушающего. Отсюда можно сделать вывод, что одну и ту же последовательность слов одного и того же человека другой человек, находясь в разном состоянии, воспринимает по-разному. Если состояния человека «нормированы» и их «норма меньше единицы», то наибольший вес в последовательности слов — предложении — имеют последние слова, т. е. первые члены полинома. Логичная речь должна удовлетворять этому требованию, эмоциональная же — вряд ли. Искусство оратора, писателя, артиста, художника состоит в том, чтобы подобрать ключ, последовательность $\{y_i\}$ к слушателям, читателям, зрителям, удержав их внимание (первоначальное состояние) и привести затем в определенное состояние, отличное от известных, которое и запоминается за счет деформации отношения S его собственного цикла (катарзис). По этой причине дальнейшее поведение человека изменяется; в этом и заключается сила человеческого слова. Деформация же отношений S невозможна без обмена веществ организма с окружающей средой (хлеба и зрелищ!).

Итак, человеческое мышление, рожденное в общении, нелинейно и обладает свойствами цикличности и свойствами поступательности, а любой сигнал на входе модели человека может быть представлен в виде обобщенного полинома. В этом случае множество X обладает свойствами кольца. После многократного преобразования в собственном цикле воспринимающей системы в таком сигнале отдельные составляющие выделяются, а другие ослабляются так, как требует того отношение S системы. Иными словами, человек стремится перейти в одно из своих предпочтительных состояний (мы образно говорим, что он пре-

следует нечто, цель) и потому коллекционирует, собирает, окружает себя такими объектами, которые формируют в его собственном цикле предпочтительные состояния. Эти объекты (а они могут быть и субъектами) для него — его материальные и ими порождаемые духовные ценности. Выясняя, что нравится данному конкретному человеку, можно определить собственные элементы его собственного цикла. Эти же элементы составляют идеал (и индуцируют соответствующий ему антиидеал при дробных k) для бинарного отношения, связывающего собственный цикл системы с циклом взаимодействия, т. е. в случае согласования двух систем

$$x \cdot y = x, \quad y + x = y. \quad [17]$$



Выделение общих для коллектива людей ценностей, идеалов и антиидеалов позволяет определить возможные режимы, варианты согласования людей в процессе создания и потребления ценностей, на пути к их идеалам.

Но все меняется, все движется. Можно ли достичь согласования элементов бионической системы в динамике? Мы ведь не знаем точно свои будущие психические состояния, не предсказываем точно поведение объектов. На самом деле, мы можем этого достичь. То, чем порождается движение — рассогласование — является одновременно и необходимым условием для предсказания. Ведь в согласованном состоянии все системы, как двойники, многократно повторяются в других объектах однозначно, целиком и по частям (отсюда, видимо, проистекает феномен неразличимости элементарных частиц — устойчивых объектов на глубоких уровнях организации материи). Но стоит их рассогласовать, как все эти двойники начнут двигаться чуть быстрее или чуть медленнее. В природе же согласованное состояние может только мыслиться как предельное. Поэтому при исследовании природы среди массы двойников имеет смысл искать такие, которые движутся быстрее данной системы. Наблюдая движение двойников, можно предсказать движение данной системы. Таким образом, для анализа движения сложных бионических систем применим не только и не столько вероятностный подход, как в квантовой механике, но и детерминированный, индивидуальный.

Искомых двойников не просто, но можно найти. Этот метод развит в художественной литературе и служит источником поэтических сравнений. В бионике этот метод прижился как основной в поисках прототипов будущих технических систем. Нахождение двойников, установление соответствия между своим собственным циклом и собственными циклами двойников — необходимое условие осознания своего существования в этом мире.

Все циклы взаимодействия систем и их подсистем можно отобразить на множество непрерывных эволюционных кривых в трехмерном пространстве, в котором отражаются в виде трех независимых функций от временного параметра повторяемость (циклическость) и поступательность движения систем в циклах взаимодействия. Такой подход дает метод количественного анализа эволюционного движения систем и предсказания их положения в будущем. Небесная механика дает примеры анализа взаимосвязи эволюционных кривых — траекторий движения небесных тел. И в самом деле, не удастся ли по движению планет-двойников с требуемой степенью точности предсказывать эволюцию, судьбу человека хотя бы на ближайшее время?

Не составляет особого труда ввести кинематические, динамические и энергетические характеристики движения систем по эволюционным кривым. Если форма кривой остается неизменной, то динамика движения относительно нее, как относительно осевой линии, может изменяться в широких пределах. Системы движущиеся относительно одной общей эволюционной кривой как относительно оси, составляют пакет (можно сравнить с волновым пакетом в квантовой механике) и находятся в одном цикле взаимодействия. При этом пакет может изменять свои размеры в пространстве и состав. Изменение состава пакета может ассоциироваться с процессом обмена веществ в живой природе. Расщепление пакета на два самостоятельных имеет смысл связать с рождением нового объекта в природе. Если рождению системы должно предшествовать расширение состава пакета, то смерть системы должна связываться с предварительным истощением пакета системы, с нарушением обмена веществ. При пересечении эволюционных кривых нескольких пакетов возникает критическая ситуация, за которой следуют процессы перестройки пакетов исходных систем.

Естественно, что траектория произвольной подсистемы, входящей в пакет, вновь может рассматриваться как осевая линия некоторого микропакета. Иерархия пакетов и кривизн их осевых линий отражает структуру S_t связей между элементами бионической системы в циклах взаимодействия. Каждая кривая линия входя в разные пакеты, приобретает черты циклических процессов преобразования сигналов в соответствующих циклах взаимодействия. Поэтому отдельная эволюционная кривая обладает сложной циклической структурой и отражает свойства все остальных эволюционных кривых взаимодействующих элементов и систем.

Если на некоторых участках эволюционных кривых элементов-двойников бионической системы осевые линии пакетов имеют один и тот же центр кривизны, то за этим участком может следовать резкое глобальное изменение движения бионической системы. Однако потенциальную возможность резкого изменения эволюции бионической системы удастся наблюдать ил

реализовать лишь в случае синхронного движения всех ее элементов по соответствующим участкам их собственных эволюционных кризисов. Синхронизация, согласование движений элементов-двойников является необходимым условием дальнейших революционных изменений бионической системы. Предоказание хода эволюционных кривых и согласование кинематических, динамических и энергетических характеристик движения отдельных подсистем (их пакетов) вдоль этих кривых — основная задача эволюционного анализа и синтеза бионических систем.

К гипоталамической теории организации бионической системы. Согласование психических состояний людей, включенных в бионическую систему, через посредство технических элементов и систем должно опираться на знание потребностей и интересов, материальных и духовных ценностей конкретных людей, их способностей и идеалов. Не развивая способностей индивидуумов, нельзя рассчитывать на совершенствование бионических систем.

Экономическая теория¹ показала, что за обменом материальными ценностями, вещами кроются глубокие процессы, рожденные объективными потребностями людей и направленные на их удовлетворение. Социальная психология, в свою очередь, указала на то, что подсознательные процессы в человеческом организме, порождающие потребности, могут ощущаться и осознаваться как мотивы и интересы. Нейропсихология и нейрофизиология ясно продемонстрировали, что мотивация поведения и эмоциональные переживания определяются в мозге активностью отдельных центров гипоталамуса, каждому из которых соответствует собственный цикл преобразования сигналов с собственными ритмами. В то же время от степени согласования собственных циклов центров гипоталамуса в их цикле взаимодействия зависит синхронизация биологических ритмов живого организма: дыхательных, сердечных, пищеварительных, выделительных, бодрствования и сна и других [9].

Именно тесная связь собственных циклов центров гипоталамуса с физиологическими ритмами организма человека через посредство диффузной и инерционной гуморальной системы, вызывающей перестройку биохимических процессов в каждой клетке живого организма, приводит к тому, что гипоталамус человека превращается в его ахиллесову пятю. Любое внешнее воздействие, дошедшее до гипоталамуса через естественные анализаторы или через вживленные электроды, способно превратить человека в послушную машину [10] или в стрессовом состоянии взорвать изнутри его организм. Любовные переживания — это не самое страшное, что может быть порождено при общении людей в бионической системе. Экологическая проблема —

¹ Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Т. I. К. Маркс, Ф. Энгельс. Сочинения. Т. 23, М., 1960. 907 с.

это тоже следствие рассогласования человека со средой при включении между ними технических систем.

Поскольку в соответствии с первым принципом, изложенным в начале статьи, любая бионическая система может рассматриваться как замкнутая, то эволюция процессов в циклах взаимодействия бионической системы, перестройка ее структуры S₁ в самодвижении и самоорганизации должны определять будущее этой системы. Основная задача тогда состоит в нахождении основного закона развития самоорганизующейся бионической системы, формулировка которого должна конструктивно раскрывать путь совершенствования бионической системы, развития потенциальных возможностей, способностей конкретных индивидумов, включенных в нее в качестве элементов.

Причина развития может быть только внутренней причиной а значит, при циклической организации систем их развитие может быть только следствием процессов изменения в собственных циклах элементов системы при движении соответствующих их пакетов вдоль их собственных эволюционных кривых.

В процессе своего движения элемент самоорганизующейся системы по уровню своей организации может превысить ту систему, в которую он входит как один из элементов, и в процессе согласования с ней неизбежно преобразует ее (иерархическую) структуру в соответствии со своими предпочтительными состояниями, потребностями, интересами, целями. Прежде всего, это относится к наиболее активному элементу бионической системы — человеку. На повестке дня находятся вопросы совершенствования существующих форм общения между людьми [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М., Марко Д., Такахага И. Теория иерархически многоуровневых систем. «Мир», 1973. 344 с.
2. Зозуля Ю. И. Согласование биологических и технических элементов и систем. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14, Харьков, 1975, с. 12—19.
3. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М.—Л., Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1949. 588 с.
4. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. М., «Наука», 1971. 146 с.
5. Курош А. Г. Общая алгебра (лекции 1969/1970 учебного года). М. «Наука», 1974. 26 с.
6. Месарович М. Основания общей теории систем. — В кн.: Общая теория систем. М., «Мир», 1966, с. 28.
7. Зозуля Ю. И. Метод многоуровневого анализа нелинейных динамических систем мозга. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 13. Харьков, 1974. с. 3—14.
8. Мах Э. Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования. М., 1909, 327 с.
9. Виноградова Л. И. Биологические ритмы при нарушении деятельности управляющих структур мозга. — «Клиническая медицина», 1973. № 1, с. 26—31.
10. Дельгадо Х. Мозг и сознание. М., «Мир», 1971. 264 с.
11. Перфильев М. Н. Общественные отношения. Л., «Наука», 1974. 237 с.

Поступила 20 ноября 1975 г.

СВОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. С О О Б Щ Е Н И Е 6

Первичные элементы действительности. В предыдущем сообщении были приведены результаты предварительного анализа некоторых существенных особенностей чувственного восприятия, к которым относится способность субъекта выделять в реальности некоторые устойчивые повторяющиеся компоненты, такие как свойства, события, объекты, процессы, отношения и другие элементы действительности (ЭД). Среди различных ЭД можно выделить особую группу наиболее простых и непосредственно доступных субъекту на уровне ощущений — первичные элементы действительности (ПЭД). Эти ПЭД являются прообразами соответствующих элементов чувственного восприятия — первичных субъективных элементов действительности (ПСЭД). Первичные субъективные ЭД предполагаются самыми простыми ЭД для субъекта, которые воспринимаются им как целостные, не расчлененные на уровне сознания на более мелкие элементы.

В настоящем сообщении приведены результаты более детального анализа особенностей чувственного восприятия человека, лежащих в основе формирования первичных представлений субъекта об элементах окружающего мира и соответствующих исходных понятий естественного языка.

Имитирующие действия субъекта. Предположим, что отображающий субъект может находиться в условиях, в которых он способен посредством своих действий имитировать те или иные ЭД, совершать имитирующие действия (ИД). Под имитирующими действиями при этом будем подразумевать действия субъекта, направленные на объективизацию субъективных элементов действительности (СЭД), — образов объективных ЭД, путем создания во внешней среде таких же ситуаций, которые были причиной возникновения соответствующих СЭД. Так, если субъект воспринимал световой раздражитель, то он может воспроизвести этот раздражитель, например, путем включения соответствующего источника света.

Имитирующие действия субъекта рассматриваются в связи с тем, что с их помощью можно ввести точный критерий адекватности отображения субъектом объективной реальности. Предварительно отметим, что отображение будем считать адекватным, если под действием раздражителя в представлении субъекта возникли образы (СЭД), которые так активируют его ИД, что в результате этих ИД во внешней среде возникают объекты и процессы, являющиеся прообразами соответствующих представлений.

Воспользуемся введенными ранее обозначениями для элементов и множеств отображаемых, отображающих и отображенных объектов. Обозначим эти множества соответственно через $Q_1(x_1)$, $Q_2(x_2)$ и $Q_3(x_3)$, где $x_1 \in Q_1$, $x_2 \in Q_2$, $x_3 \in Q_3$. Множества *первичных элементов* действительности отображаемых, отображающих и отображенных будем соответственно обозначать теми же символами, но добавим еще один индекс в обозначениях: Q_{11} , Q_{21} и Q_{31} , где в обозначениях первый индекс сохраняет свой прежний смысл, а второй индекс — единица указывает на то, что это символы первичных элементов. Такими же двойными индексами снабдим и обозначения соответствующих первичных элементов отображаемых — x_{11} , отображающих — x_{21} , отображенных — x_{31} , где $x_{11} \in Q_{11}$, $x_{21} \in Q_{21}$ и $x_{31} \in Q_{31}$. Множество ИД обозначим через $Q_4(x_4)$, где $x_4 \in Q_4$, а множество соответствующих результатов действий — через $Q_5(x_5)$, где $x_5 \in Q_5$.

Процесс отображения будем считать полным, если он состоит из такой цепочки промежуточных отображений:

$$\langle \varphi_{12} : Q'_1 \rightarrow Q'_2; \varphi_{23} : Q'_2 \rightarrow Q'_3; \varphi_{34} : Q'_3 \rightarrow Q'_4; \varphi_{45} : Q'_4 \rightarrow Q'_5; \\ \varphi_{51} : Q'_5 \rightarrow Q'_1 \rangle,$$

где $\varphi_{12} : Q'_1 \rightarrow Q'_2$ — отображение подмножества материальных ЭД Q'_1 в подмножество состояний отображающих структур субъекта $Q'_2 \in Q_2$; $\varphi_{23} : Q'_2 \rightarrow Q'_3$ — отображение состояний Q'_2 в подмножество Q'_3 отображенных элементов Q'_3 ; $\varphi_{34} : Q'_3 \rightarrow Q'_4$ — отображение Q'_3 в подмножество Q'_4 имитирующих действий; $\varphi_{45} : Q'_4 \rightarrow Q'_5$ — отображение этих имитирующих действий в подмножество результатов действий Q'_5 ; $\varphi_{51} : Q'_5 \rightarrow Q'_1$ — отображение результатов имитирующих действий во

множество исходных элементов действительности. Отдельные звенья в полном цикле отображения могут быть рассмотрены как последовательные интерпретации структур одной формы существования на структурах другой. Отображение будем считать *адекватным*, если отображение $\varphi_{51} : Q'_5 \rightarrow Q'_1$ — взаимно одно значное соответствие.

Детекторы нервной системы. Выше было отмечено, что среди многочисленных элементов действительности, доступных субъекту непосредственно на уровне ощущений, есть особая группа наиболее простых, первичных ЭД. К таким элементам можно например, отнести события — возникновения возмущений во внешней среде (вызывающие ощущения возникновения раздражителя), процессы существования того или иного воспринимаемого возмущения, события изменения или исчезновения воспринимаемого возмущения. Субъект имеет в составе анализаторов соответствующие структуры, способные выделять во внешней ситуации перечисленные выше и множество других ЭД.

Так, многочисленные электрофизиологические исследования зрительного, слухового, тактильного и других анализаторов показали, что существуют особые группы нервных клеток — рецептивные поля, реагирующие только на специфические пространственно-временные и другие признаки раздражителей. Выходные клетки рецептивных полей образуют большую группу так называемых детекторов нервной системы, совершающих первичное расчленение воспринимаемой реальности на элементы, остающиеся большей частью в подсознании.

Будем обозначать детекторы временных, пространственных и других признаков внешних раздражителей следующим образом: $on - t - d$ — детектор включения, возникновения раздражителя, зависящего от времени; $on - s - d$ — детектор границы пространственного возмущения; $off - t - d$ — детектор выключения, исчезновения, временного раздражителя; $on - off - s - d$ — детектор контуров пространственного раздражителя; $is - \Delta t - d$ — детектор длящегося раздражителя (например, рецепторный элемент, относительно медленно адаптирующийся к действию постоянного от времени раздражителя); $v - \Delta t - d$ и $v - \Delta s - d$ — детекторы каких-либо специальных особенностей в изменениях соответственно временного и пространственного раздражителей. Существует множество других детекторов в анализаторах нервной системы, к которым мы будем обращаться по мере необходимости. Некоторые результаты исследований детекторов нервной системы методами математического и физического моделирования описаны подробно в работах [1—4].

В настоящем сообщении детекторы нервной системы рассматриваются преимущественно в роли структур, обеспечивающих субъекту возможность непосредственного отражения целого ряда первичных элементов действительности, чаще всего не выходящих даже на уровень сознания. Именно благодаря детекторам субъект становится обладателем простейших представлений о ситуациях внешнего мира.

Указав на некоторые первичные ЭД, мы не предполагали, однако, что субъект не может воспринимать непосредственно сложные комбинации различных элементов. Но на ранних стадиях развития психики это восприятие целостных объектов чрезвычайно поверхностно и недифференцированно. Субъект с достаточно развившейся в онтогенезе психикой оперирует и сложными целостными группами дифференцированных ощущений и может непосредственно воспринимать сложные много-модальные ситуации как целое, не подвергая явному анализу все промежуточные стадии ощущений, которые по мере совершенствования восприятия уходят на подсознательный уровень. Можно вспомнить о знакомых каждому стадиях совершенствования техники чтения текстов от отдельных букв, слогов, целых слов и даже фраз.

Переход первичных актов сознательной деятельности на уровень подсознания является одной из причин возникновения существенных трудностей детального анализа сложных мыслительных и физических действий, совершаемых субъектом. Однако для создания искусственных систем, совершающих сложные операции, подобные интеллектуальным, совершенно необходимо найти пути осуществления декомпозиции подсознательной деятельности на простейшие операции, осуществимые средствами современной техники. В этом смысле анализ функционального назначения детекторов нервной системы является, по нашему мнению, одним из путей «снизу» в осуществлении такой декомпозиции. Отметим также, что существует и другой путь декомпозиции «сверху», основанный на анализе и интерпретации свойств отношений, используемых субъектом при описании реальных ситуаций любой природы на различных уровнях абстракции. Многие отношения, используемые субъектом, являются для него как результат скрытых процессов переработки информации на подсознательном уровне. Но в неявной форме следы этих процессов представлены в известных свойствах отношений.

Свойства отношений достаточно подробно исследованы в сфере математических отношений и результаты этих исследований могут быть в значительной мере полезными при анализе свойств конкретных отношений любой природы. В явном виде процедура декомпозиции отношений на порождающие их операции и действия будет описана нами при рассмотрении физической интерпретации математических отношений.

Первичные субъективные элементы действительности. Будем различать первичные отображаемые, отображающие и актуально отображенные элементы действительности, где под актуально отображенными ЭД будем понимать субъективные образы материальных объектов, свойств, отношений, событий, процессов и любых материальных ситуаций, возникающие в акте непосредственного чувственного восприятия перечисленных компонентов материального мира.

Пока мы не будем вводить какое-либо полное определение понятия «первичный элемент действительности». Уточним лишь что под первичными отображенными элементами действительности следует понимать в дальнейшем изложении такие субъективные образы, возникающие непосредственно под действием наиболее простых для субъекта элементов материального мира, которые он уже не может на уровне сознания расчленить на более мелкие, отдельно осознаваемые элементы.

Рассмотрим, например, такое событие для субъекта, как вспышку света очень малой длительности, сосредоточенную в малом точечном элементе пространства. Пусть длительность вспышки и ее пространственные размеры находятся за пределами временной и пространственной разрешающей способности зрительного анализатора субъекта и субъект не может оцени

длительность и протяженность вспышки. Предположим, однако, что субъект успевает получить качественное представление об интенсивности и цвете вспышки. Даже такое относительно простое событие является структурой, включающей следующие элементы: факт существования вспышки, модальность, интенсивность и конкретное качество (цвет) вспышки. Эти элементы находятся в отношении принадлежности к целостному образу вспышки, но каждый из них уже не подлежит дальнейшей декомпозиции на более мелкие осознаваемые элементы.

Реальные ситуации и их субъективные образы представляют собой структуры, состоящие из элементов, обладающих свойствами и находящимися в отношении. Но говорить о свойствах и отношениях в отрыве от их носителей (объектов и взаимодействий) можно лишь в ограниченных пределах в сфере идеальных рассуждений. В сфере свойств и отношений материальных объектов, воспринимаемых субъектом, свойства принадлежат объектам или их взаимосвязанным группам. Но объекты могут быть сами по себе очень сложными структурами, состоящими из элементов, обладающих свойствами и находящимися в отношении, т. е. прежде чем говорить об отношении объектов и его определении, мы должны определить, что такое отношение элементов структуры внутри объекта. Если, однако, удастся выделить множество «бесструктурных» по какому-либо параметру объектов, не нуждающихся к тому же в другом определении, кроме остенсивного, через указание на примеры, то субъект компетентен на множестве таких объектов переходить к определению свойств и отношений.

Событие, описанное в рассмотренном выше примере со вспышкой света, относительно воспринимающего субъекта можно считать бесструктурным, точечным по пространственному и временному параметрам. Аналогично можно рассмотреть «точечные» события для слухового, тактильного и других анализаторов. Точечные события различных модальностей интересны тем, что с их помощью субъект может получить представление о единичных элементах и их множествах, свойствах и отношениях простейших элементов материального мира, еще не имея представления о том, что такое внешний материальный объект во всем его богатстве. Представление о внешнем материальном объекте, данном всеми своими атрибутами, возникает в отображенном на более позднем этапе структурирования ощущений, когда субъекту уже «понятно», что такое свойство и отношение более простых элементов реальности.

Рассматривая точечные события, субъект естественным образом отвлекается, «абстрагируется» от множества особенностей реальных событий, не имея физической возможности непосредственно с помощью органов чувств анализировать пространственно-временную структуру таких событий. При этом

в отчетливой и явной форме выступают такие особенности ощущений, как их интенсивность, модальность и другие конкретные качества (цвет, тон и т. п.), которые мы будем в дальнейшем относить к первичным субъектным элементам действительности — *первичным свойствам*.

Но введение бесструктурных материальных элементов для субъекта не снимает трудности, возникающие в связи с необходимостью ответа на вопрос о том, как же субъект отличает разные элементы как целостные отдельные объекты. Следующий шаг проникновения на уровень анализа структуры целостных «точечных» элементов есть уже шаг на уровень анализа процессов подсознательной деятельности, на котором осуществляется первичная обработка сенсорной информации. Мы предполагаем, что анализ функционального назначения детекторов нервной системы животных и человека может облегчить декомпозицию первичных еще осознаваемых элементов восприятия на еще более мелкие элементы и отношения, выявление которых может быть физически интерпретировано и поручено автоматическим устройствам.

Прежде чем рассматривать элементы реальных ситуаций и событий, которые могут быть обнаружены особыми нервными структурами — детекторами различных признаков раздражителей, приведем еще один пример сравнительно простого раздражителя. Пусть теперь субъекту предъявляется вспышка света локализованная в точечном элементе пространства, но имеющая некоторую воспринимаемую субъектом фиксированную длительность и постоянную интенсивность.

При нормальном и адекватном восприятии всякий субъект способен установить, что световая вспышка имела начало, длилась некоторое время, имела определенную интенсивность, цвет и окончилась в некоторый момент. Обычно субъект не анализирует свое целостное ощущение вспышки света столь детальным образом (без специальной установки на осуществление такого анализа), но может при необходимости более или менее определенно дать отчет о всех упомянутых выше особенностях элементов ощущения. Такие элементы субъективного образа как момент возникновения, существования, изменения и исчезновения раздражителя лишь с определенной натяжкой можно отнести к осознаваемым элементам. Эти элементы успевают уйти на уровень подсознания в силу своей тривиальности для субъекта раньше, чем субъект ставит им в соответствие понятия, используемые на сознательном уровне. С одной стороны, это избавляет субъекта от необходимости оперировать на уровне сознания огромным количеством мелких деталей, но с другой — лишает его возможности установить, как же осуществляется переход к крупным информационным структурам, уже выходящим на уровень сознания. Анализ перехода к осознаваемым информационным структурам от подсознательных имеет принципиально

значение для выяснения возможности и целесообразности иммиграции этого перехода в искусственных системах обработки сигналов.

Предварительное знакомство с перечисленными элементами ощущений, образами этих особых состояний отображающих структур субъекта и первичными понятиями, соответствующими этим образам, возникает невольное предположение о надуманности таких понятий, их ненужной и неиспользуемой субъектом детализации. Но более подробное знакомство с задачами разработки искусственных анализаторов и проблемой выделения первичных понятий естественного языка, связанной с этой разработкой, постепенно убеждает нас в том, что без таких простых понятий, вероятно, нельзя ввести систему первичных базовых понятий, отражающих уровень конкретного и непосредственного восприятия и удовлетворяющих элементарным требованиям однозначности и определенности содержания. Невозможен без таких понятий, по нашему мнению, и корректный переход на следующий уровень первичных абстрактных базовых понятий естественного языка, уже не соответствующих непосредственно каким-либо конкретным материальным элементам действительности, и переход к понятиям высших уровней абстракции.

Назовем фрагменты события для субъекта, подобного рассмотренному выше одномодальному ощущению (возникновение ощущения, существование его после возникновения, изменения в период существования и исчезновения ощущения), первичными одномодальными объектами для субъекта, которые обозначим через *on* (возникновение), *is* (существование), *v* (изменение) и *off* (исчезновение) ощущения. Первичные свойства, названные выше модальностью, интенсивностью и конкретным качеством, обозначим соответственно через *m*, *i* и *p*.

Будем предполагать, что наряду с первичными свойствами и объектами субъекту непосредственно доступны на уровне ощущений и некоторые отношения — *первичные отношения*. Такими будем считать отношения принадлежности R_1 элементов *on*, *is*, *v* и *off* к одному целостному ощущению, отношение порядка R_2 этих элементов в рамках отдельного ощущения, отношение принадлежности R_3 множества первичных свойств $\{m, i, p\}$ множеству первичных элементов, что можно записать в виде выражения

$$\{m, i, p\} \in \{on, is, v, off\}.$$

Непрерывность целостного ощущения (переход одного фрагмента в другой без перерыва в ощущении) можно представить отношением R_4 «быть непосредственно рядом во времени», «касаться» между упорядоченными фрагментами $(on)R_4(is) \times \times R_4(off)$. Рассмотренные отношения необходимо дополнить отношением различия R_5 между фрагментами *on*, *is*, *v* и *off*.

отношением эквивалентности этих фрагментов по модальности, интенсивности и качеству, отношением сходства и различия интенсивности или качества (например, цвета) в пределах отдельного одномодального ощущения и многими другими отношениями, которые мы пока не будем рассматривать.

В целом структура одномодального события для субъекта, подобного вспышке света конечной длительности, несмотря на внешнюю простоту и привычную определенность для субъекта, оказывается достаточно сложной. Такую структуру можно простейшим образом описать путем перечисления первичных элементов события:

$$\{ \{ on, is, v, off \}; \{ m, i, p \}; \{ R_1, R_2, \dots, R_n, \dots \} \}.$$

Значительно более сложные структуры в отображенном виде возникают при восприятии сложных многомодальных ситуаций. Но мы предполагаем возможным выделить достаточно полный набор первичных субъектных элементов (ПСЭ), первичных субъектных свойств (ПСС) и первичных субъектных отношений (ПСО), на основе которых может быть осуществлен синтез сложных производных структур в отображенном, соответствующих сложным ситуациям объективной реальности.

Важно отметить, что описание абстрактных структур с заданными элементами и отношениями сопровождается аксиоматическим описанием свойств соответствующих отношений. На уровне конкретных ощущений субъекту тоже доступны свойства отношений (то, что, например, произошло раньше другого, субъект не станет менять местами, учитывая тем самым асимметричность отношения временного порядка событий). Но отношения возводятся в ранг идеальных объектов, которые могут иметь свойства, только на сравнительно высоких уровнях абстрактного мышления, где осознаются признаки, по которым субъект четко отличает одно отношение от другого. Но сформировавшись на уровне абстрактных представлений, наши знания о свойствах отношений неожиданно становятся конструктивными правилами, которые оказались возможным использовать при физической интерпретации конкретных и абстрактных отношений и построении устройств, которые можно было бы назвать детекторами отношений.

Кратко резюмируя основные положения об особенностях чувственного отображения реальности, затронутые в настоящем сообщении, отметим, что живая природа в процессе эволюции нашла целесообразным закрепить в составе анализаторов животных и человека огибающие структуры, которые выделяют такие наиболее простые и существенные компоненты реальности, как первичные элементы, первичные свойства и отношения. На высших абстрактных уровнях психической деятельности эти элементы идентифицированы как события, процессы, объекты свойства объектов, отношения, свойства отношений и ситуации

представляющие собой производные структуры от перечисленных и других элементов.

С нашей точки зрения, искусственные системы отображения, которые могли бы заменить человека в условиях, где необходима человеческая интерпретация ситуаций, но человек не может или не хочет находиться, должны взять на себя функции выделения таких же элементов реальности, которые существенны для человека.

Способы физической интерпретации и технической реализации устройств-детекторов, обеспечивающих выделение первичных элементов и свойств (прообразов ПСЭ и ПОС), мы рассмотрели в работах [1—4]. В ближайшем сообщении будут рассмотрены способы физической интерпретации отношений и построения детекторов первичных и более сложных отношений. При наличии всех необходимых детекторов первичных элементов, свойств и отношений можно непосредственно приступить к синтезу простейших искусственных систем отображения, осуществляющих интерпретацию реальных ситуаций, близкую по многим параметрам к человеческой интерпретации реальности.

Рассмотренные в настоящем сообщении некоторые результаты декомпозиции способности субъекта расчленять реальность на ряд специфических элементов кажутся нам реальной основой для имитации целого ряда особенностей адекватного отображения реальности человеком. По результатам имитирующих действий субъекта и искусственного отображающего устройства (имитирующие действия понимаются в указанном в начале сообщения смысле) можно осуществлять сравнение идентичности и адекватности отображения реальности субъектом и воспроизводящим некоторые функциональные особенности субъекта автоматом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугай Ю. П. Исследование нейроподобных элементов и систем как устройств первичной переработки информации. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Харьков, 1968.
2. Бахтигозин В. А., Бугай Ю. П., Червов В. Г. Орбитальная модель детектора ориентированных отрезков зрительного анализатора животных. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 6, Харьков, 1971, с. 74—78.
3. Бахтигозин В. А., Бугай Ю. П., Червов В. Г. Оптико-электронная модель локальных детекторов зрительного анализатора. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 10, Харьков, 1973, с. 120—124.
4. Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Абдула В. Г. Телевизионная модель детектора движения. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 7, Харьков, 1971, с. 85—89.

Поступила 12 сентября 1975 г.

Ю. И. НЕФЕДОВ, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ. СООБЩЕНИЕ 3¹

Одной из главных задач, возникающих при разработке эффективных оптико-электронных систем пеленгации, является выделение полезного сигнала от искомого изучающего объекта на фоне неоднородных, нестационарных помех. К помехам (или шуму) можно отнести поступающие на вход системы оптические сигналы, отличающиеся от объекта пеленгации (цели) пространственно-временными, яркостными или частотными характеристиками. Возможности выделения объекта пеленгации на мешающей фоне за счет различий в распределении изучения по оптической частоте (длине волны) или интенсивности легче поддаются оценке в силу одномерности задач и поэтому они более изучены [1—4].

Выявить возможности селекции полезного сигнала по его пространственно-временным характеристикам значительно сложнее. Сложность этой задачи обусловлена большим разнообразием пространственно-временных характеристик объекта пеленгации и помех. Чтобы облегчить поиск структурно-функциональных особенностей пространственно-временных фильтров, многие исследователи стали заимствовать принципы организации нейронных структур зрительной системы тех животных, для которых задачи слежения и селекции цели являются жизненно необходимыми.

Особый интерес вызвали нейронные образования сетчатки глаза, получившие название детекторов направления движения (или детекторов направленного движения). Эти нейронные структуры выделяют объекты, движущиеся в определенном направлении, и, по мнению нейрофизиологов, являются датчиками координат в глазодвигательной системе слежения за целью [5]. Важными особенностями биологических пространственно-временных фильтров является их хорошая помехозащищенность, большое быстродействие и надежность. Высокое качество фильтрации обеспечивает жизнедеятельность животных (погоня за добычей, избавление от преследования) и, следовательно, и выживание в окружающей среде. Структуры биологических фильтров зрительной системы сформировались в процессе длительной эволюции животных и поэтому хорошо согласованы с пространственно-временными характеристиками цели и поме-

¹ Сообщение 1, 2 см. «Проблемы бионики», вып. 14, 15.

Одним из основных факторов, препятствующих созданию эффективных нейроподобных пространственно-временных фильтров изображений, является недостаточная изученность нейронных структур зрительной системы методами математического моделирования. Математические методы исследования сложных систем, какими являются нейронные слоистые структуры зрительного анализатора, только начинают проникать в сферу биологии. В настоящее время методами математического моделирования исследованы лишь простейшие нейронные пространственно-временные фильтры. Предпринимались попытки математического описания отдельных нейронных структур, детектирующих движение и направление движения. Созданы разнообразные телевизионные модели таких структур. Рассмотрим, как решена задача обнаружения и выделения движущихся объектов.

Изотропное пространственно-временное дифференцирование. Нейронные структуры, названные детекторами движения (или детекторами движущегося края), осуществляют изотропное пространственно-временное дифференцирование изображений, и поэтому выделяют любые динамические изменения на изображениях. Идеализированную весовую функцию такого фильтра можно записать в виде соотношения

$$Q(x-x_0, y-y_0, t-t_0) = \delta(x-x_0, y-y_0) \delta'(t-t_0), \quad (1)$$

в котором пространственная компонента весовой функции $Q(x-x_0, y-y_0) = \delta(x-x_0, y-y_0)$ указывает на отсутствие пространственных связей между фоторецепторами, а временная компонента

$$Q(t-t_0) = \delta'(t-t_0), \quad (2)$$

равная первой производной δ -функции, обеспечивает выделение резких изменений освещенности во времени. Такие изменения могут возникать как при включении и выключении света, так и при перемещении световой границы.

Временной компонентой весовой функции детектора движения может быть не только первая производная δ -функции (2). Любая функция $Q^*(t-t_0)$, аппроксимирующая функцию (2), удовлетворяет условию $\int_{-\infty}^{\infty} Q^*(t-t_0) dt_0 = 0$ при $t \rightarrow \infty$, которое обеспечивает выделение движущихся границ света на фоне неподвижных. Степень приближения функции, аппроксимирующей $\delta'(t-t_0)$, влияет на величину реакции и на длительность переходного процесса. В качестве примера аппроксимирующей функции можно привести весовую функцию модели детектора движения сетчатки лягушки [8]:

$$Q(x-x_0, y-y_0, t-t_0) = \delta(x-x_0, y-y_0) (\tau_2 - \tau_1)^{-2} \times \\ \times \left\{ \tau_2^{-1} \exp \left[-\frac{t-t_0}{\tau_2 (\tau_2 - \tau_1)} \right] - \tau_1^{-1} \exp \left[-\frac{t-t_0}{\tau_1 (\tau_2 - \tau_1)} \right] \right\}. \quad (3)$$

В этом выражении τ_1 и τ_2 — постоянные времени инерции, соответствующие процессам возбуждения и торможения. Проведенные исследования реакций модели, определяемых из соотношения для пороговой операции свертки (см. сообщение 1), на различные возмущения показали, что величина реакции изменяется в зависимости от скорости движения границ света. При этом значения постоянных времени τ_1 и τ_2 и порога c определяют нижнюю и верхнюю границы скоростей движения возмущения, при которых реакция модели будет еще отлична от нуля. Следовательно, можно найти конкретные значения τ_1 , τ_2 , c , соответствующие заданному диапазону скоростей. Фильтр будет выделять лишь объекты, движущиеся с определенными скоростями, т. е. будет детектором скорости.

Построена телевизионная модель детектора движения с весовой функцией (3) [9]. Модель реагирует либо на включение света (если $\tau_2 > \tau_1$), либо на его выключение (если $\tau_2 < \tau_1$). Это обеспечивает селекцию движущихся объектов. В другой подобной телевизионной модели детектора движения [10] моделируются структуры сетчатки, реагирующие на включение-выключение света (*on-off*-реакции). Упрощенная блок-схема этой телевизионной системы приведена на рис. 1. Данная модель отличается от модели, рассмотренной в работе [9], лишь тем, что для воспроизведения *on-off*-реакций используется не один, а два сумматора и элемент, выполняющий логическую операцию «ИЛИ».

Свет, поступающий в двухвидиконную камеру (рис. 1), поровну распределяется между инерционным и безынерционным видеиконами ($\tau_2 > \tau_1$). С выхода каждого видеикона на входы сумматоров подаются сигналы разной полярности. В результате на выходе первого сумматора формируется сигнал, вызванный включением света при движении наблюдаемого объекта (*on*-реакция), а на выходе второго сумматора — сигнал, вызванный выключением света (*off*-реакция).

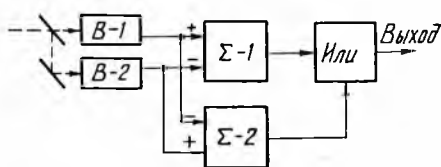


Рис. 1.

Элемент «ИЛИ» формирует из выходных сигналов сумматоров сигнал включения выключения света (*on-off*-реакцию). Подобную систему предполагают использовать в качестве датчиков на космических кораблях для сокращения избыточности визуальных сообщений, передаваемых из космоса, при мягкой посадке на Марс [10]. Сложность технической реализации рассмотренных телевизионных систем [9, 10] состоит в необходимости идентичного сопряжения изображений на мишенях двух видеиконов и в использовании видеиконов с одинаковыми характеристиками свет—сигнал, но с разными инерционностями.

Телевизионная модель детектора движения, рассмотренная в работе [11], лишена указанных выше недостатков. В модели применяется одна передающая трубка. Однако модель имеет ограниченное применение, так как предназначена для работы лишь с двупрадационными изображениями.

В работах [12, 18] рассмотрены методы выделения динамических изменений на изображении, основанные на получении межкадровой разности видеосигналов. Недостатком таких методов является необходимость запоминания телевизионного кадра, что приводит к заметному усложнению системы селекции.

Функции детектора движения может также выполнять дифференцирующая передающая телевизионная трубка [13]. Видеосигнал, полученный с помощью этой трубки, является функцией изменения яркости исходного изображения $u=f(B', B'')$, где B' , B'' — первая и вторая производные яркости элементарных участков изображения во времени. Следовательно, трубка воспроизводит только динамическую картину и не передает неподвижных и не изменяющих яркости участков изображений.

Предложен также способ детектирования движения на основе переключения световых и электрических режимов работы мишени специальной передающей телевизионной трубки [14]. Используемая трубка имеет сильно выраженный максимум функции, описывающей зависимость выходного сигнала u от освещенности E (рис. 2). Работа детектора движения включает три этапа. На первом этапе на мишени трубки создается потенциальный рельеф, соответствующий негативному изображению. При этом средняя освещенность определяется значением $E_1 > E_{\max}$ (см. рис. 2). Затем средняя освещенность дискретно изменяется до значения $E_2 < E_{\max}$. Экспозиция при среднем уровне освещенности E_2 создает на мишени потенциальный рельеф, соответствующий позитивному изображению. После этого происходит полное затемнение мишени на время одного кадра развертки. В течение этого времени происходит считывание накопленного за две экспозиции потенциального рельефа.

Если крутизна нарастающей и спадающей ветвей характеристики (рис. 2) одинакова по абсолютной величине, то считанный видеосигнал будет содержать информацию лишь о динамических изменениях, происшедших за время между двумя экспозициями. В реальных телевизионных трубках не выполняется условие равенства абсолютных значений крутизны нарастающей и спадающей ветвей характеристики $u=f(E)$. Поэтому на выходном изображении будут видны и неподвижные объекты. Это и является основным недостатком данного способа детектирования движения.

Простое телевизионное устройство, выделяющее движущиеся объекты, рассмотрено в работе [15]. Детектирование движения осуществляется в этом устройстве на мишени видикона. При накоплении потенциального рельефа к мишени видикона пооче-

редно прикладываются равные по величине, но противоположные по знаку постоянные напряжения. Поэтому каждый освещенный элемент мишени заряжается сначала положительно и затем отрицательно. Если за все время накопления потенциального рельефа освещенность элементарного участка мишени не изменилась, то средний уровень потенциала данного участка будет равен нулю. В противном случае, когда происходит какое-либо изменение освещенности, уровень потенциала мишени будет отличаться от нуля. Следовательно, при разряде потенциального рельефа сканирующим электронным лучом видеосигнал будет возникать лишь во время коммутации участков мишени на которых изменилась освещенность. Если изменение освещенности вызвано перемещающимся относительно мишени видящим излучающим объектом, то на экране приемной электронно-лучевой трубки появится изображение перемещающегося объекта.

В заключение следует указать, что в настоящее время разрабатываются радиолокационные и передающие телевизионные трубки, специально предназначенные для селекции подвижных объектов [16, 17].

Пространственно-временные интегрально-дифференциальные операции. Предпринимались попытки решения задачи выделения объектов, движущихся в определенном прямолинейном направлении. Нейронные структуры зрительной системы, выполняющие подобные функции, получили название детекторов направления движения (или направленного движения). У разных животных детекторы направления движения имеют специфические структурные и функциональные особенности. Этим и объясняется разнообразие существующих моделей детекторов. Рассмотрим, как решена задача селекции направления движения.

В работе [8] описаны математическая и телевизионные модели детектора направленного движения, обнаруженного в сетчатке суслика. Весовая функция моделей отражает пространственно-временные характеристики рецептивного поля с асимметричным расположением областей возбуждения и торможения (рис. 3) и записывается в виде соотношения

$$Q(x - x_0, y - y_0, t - t_0) = \tau_1^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) [1(r - x - x_0) + \\ + 1(r - y - y_0)] - \tau_2^{-1} \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) [1\{(x - x_0) + r_1\} [R - \\ - (x - x_0)] + 1(R - |y - y_0|)]. \quad (4)$$

В этом выражении τ_1 и τ_2 — постоянные времени инерции возбуждения и торможения ($\tau_2 > \tau_1$); значения r, r_1, R показаны на рис. 3, где знаком $+$ отмечена область возбуждения, а знаком $-$ — область торможения моделируемого рецептивного поля. С помощью пороговой операции свертки исследовались реакции модели на точечное возмущение, движущееся с постоянной скор-

стью v в «предпочтительном» (указанном стрелкой на рис. 3) и противоположном направлениях. Реакция модели принимала положительное значение при движении возмущения в «предпочтительном» направлении и отрицательное — при движении в противоположном направлении. Введение порога $c \geq 0$ обеспечивает выделение положительных реакций, т. е. селекцию движения в одном прямолинейном направлении. Исследование реакций

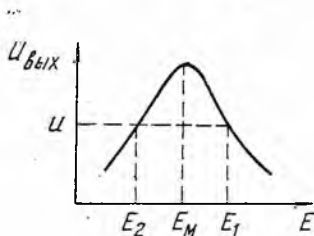


Рис. 2.

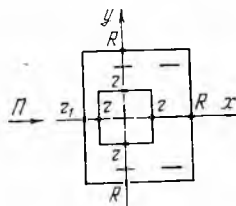


Рис. 3.

модели на экстремум позволило получить соотношение между постоянными времени τ_1 , τ_2 и локальными радиусами областей возбуждения r и торможения R , при выполнении которого детектируется движение в «предпочтительном» направлении:

$$\frac{R}{r} < \left(2 \frac{\tau_2}{\tau_1} - 1 \right). \quad (5)$$

Это соотношение позволяет оценить разрешающую способность модели по направлению движения (угловую разрешающую способность) при любой пространственной конфигурации рецептивного поля (весовой функции) и известных значениях постоянных времени инерции процессов возбуждения τ_1 и торможения τ_2 для каждого направления.

Разработана телевизионная модель детектора направления движения с аналогичной соотношению (4) весовой функцией [8]. Система состоит (см. рис. 4) из двухвидиконной камеры, сумматора разнополярных видеосигналов Σ и порогового устройства Π . Для реализации весовой функции электронный луч видикона 2 расфокусировался, а постоянная времени инерции этого видикона несколько увеличилась по сравнению с постоянной времени видикона 1. Электронный луч видикона 1 сфокусирован нормально. Пятна лучей видиконов 1 и 2 совмещались краями (на уровне эффективных радиусов) в плоскости входного изображения, как показано на рис. 5. Развертка изображений в видиконах осуществлялась синхронно. На выходе порогового устройства сигнал отличался от нуля, когда на входе системы точечные источники света перемещались в «предпочтительном»

направлении, указанном стрелкой на рис. 5. На другие направления движения и на неподвижные объекты система не реагирует.

Другая телевизионная модель детектора направления движения рассмотрена в работе [22]. В этой модели осуществляется суммирование видеосигналов двух передающих трубок, имеющих разную инерционность. Работу системы можно пояснить

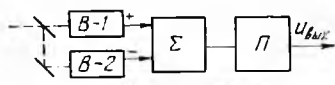


Рис. 4.

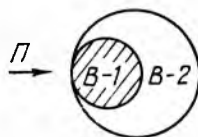


Рис. 5.

с помощью рисунков. Здесь показаны пятна (1 и 2) лучей двух видеоконвекторов и выходные сигналы сумматора видеосигналов и порогового устройства $u_{\text{вых}}$, формирующиеся при движении пятна света в направлениях, указанных стрелками. Как видно из приведенных рисунков, сигнал, превышающий уровень порога, возникает только при движении пятна света в «предпочтительном» направлении. Однако данная телевизионная система в отличие от рассмотренной ранее (рис. 4), будет реагировать на неподвижные объекты. В этом основной недостаток данной системы. Общие технические недостатки двух рассмотренных выше телевизионных систем такие же, как у двухвидиконных систем, детектирующих движение.

Селекцию направления движения можно осуществить другим методом, рассмотренным в работе [8]. Для этого необходимо запомнить траекторию движения пятна света на небольшом промежутке времени и просуммировать полученные сигналы в направлении перемещения. Интегральный сигнал, соответствующий данному направлению, может быть выделен при помощи порогового устройства. Идеализированную весовую функцию такого пространственно-временного фильтра можно записать в виде произведения δ -функции, заданной на отрезке прямой (или кривой) линии, и инерционного звена:

$$Q(x - x_0, y - y_0, t - t_0) = \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau}\right) \delta[(x - x_0) \sin \alpha + (y - y_0) \cos \alpha] \cdot \left[\frac{a}{2} - |(x - x_0) \cos \alpha - (y - y_0) \sin \alpha| \right].$$

Здесь a — длина отрезка прямой; α — угол наклона прямой к оси абсцисс; τ — постоянная времени. Фильтр с данной весовой функцией реагирует на движение точечного возмущения в направлениях под углом α и углом $\alpha + \pi$. Способность одновременно детектирования двух противоположно направленных движений является главным функциональным отличием данной

фильтра от ранее рассмотренных. Другой важной особенностью подобных фильтров является возможность выделения объектов, движущихся по криволинейной траектории с заданной кривизной. Для этого следует изменить область пространственного интегрирования (т. е. изменить область задания δ -функции) в соотношении (6). Временная компонента весовой функции (6) не обеспечивает нечувствительности к неподвижным объектам. Если временную компоненту представить в виде разности двух инерционных звеньев

$$Q(t - t_0) = \tau_2^{-1} \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_2}\right) - \tau_1^{-1} \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_1}\right), \quad (7)$$

где $\tau_2 > \tau_1$, то такой пространственно-временной фильтр не будет реагировать на неподвижные объекты. Остальные функции фильтра не изменяются.

Методы технической реализации таких фильтров основаны на использовании инерционных телевизионных трубок и высокочастотных локальных микроразверток, обеспечивающих пространственное интегрирование, в сочетании с обычными строчно-кадровыми развертками [8, 19—21].

Пространственно-временной фильтр с весовой функцией (7) обладает невысокой угловой разрешающей способностью по направлениям движения. Такой фильтр будет реагировать не только на два противоположные направления движения, но и на движения в направлениях, близких к указанным. Угловую разрешающую способность фильтра можно значительно повысить, если использовать операцию двойного дифференцирования возмущения в направлении, ортогональном пространственному интегрированию [20, 21]:

$$Q(x - x_0, y - y_0, t - t_0) = \delta''[(x - x_0) \sin \alpha + (y - y_0) \cos \alpha] \times \\ \times \left[\frac{a}{2} - |(x - x_0) \cos \alpha - (y - y_0) \sin \alpha| \right] \delta'(t - t_0). \quad (8)$$

Свертка данной весовой функции с возмущением обеспечивает двойное пространственное дифференцирование возмущения в направлении под углом α , пространственное интегрирование в ортогональном направлении и дифференцирование во времени. Фильтр с весовой функцией (8) выделяет небольшие пятна света, движущиеся в любом из двух противоположных направлений, обладает высокой угловой разрешающей способностью и не реагирует на неподвижные объекты. Данный фильтр может быть синтезирован из пространственного фильтра, детектирующего контуры прямолинейных световых границ определенной ориентации и детектора движения [8].

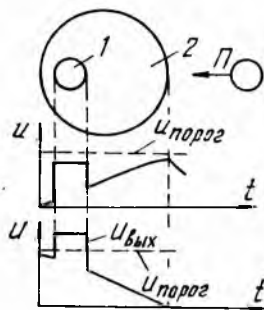


Рис. 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криксунов Л. З., Усольцев И. Ф. Инфракрасные системы обнаружения, пеленгации и автоматического сопровождения движущихся объектов. М., «Сов. радио», 1968. 320 с.
2. Левшин В. Л. Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. М., «Сов. радио», 1971. 200 с.
3. Шестов Н. С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех. М., «Сов. радио», 1967. 348 с.
4. Якушенко Ю. Г. Основы теории и расчета оптико-электронных приборов. М., «Сов. радио», 1971. 336 с.
5. Oyster C. W., Barlow H. B. Direction—selective units in rabbit retina: distribution of preferred directions. — «Sciens», 1971, vol. 155, № 3764, p. 841—842.
6. Детектирование движения в сетчатке глаза лягушки. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 5, Харьков. 1971, с. 30—37. Авт.: Ю. И. Зозуля, Ю. И. Нефедов, В. Г. Червов и др.
7. Морено-Диас Р. Математическая модель детектора насекомых в ганглиозной клетке сетчатки лягушки. — В кн.: Кибернетические проблемы бионики. Т. 1, М., «Мир», 1971, с. 201—227.
8. Нефедов Ю. И. Исследование принципов переработки информации в зрительной системе и их использование при построении телевизионных пространственно-временных фильтров изображений. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, Харьков. 1971. 26 с.
9. Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Абдула В. Г. Телевизионная модель детектора движения. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 7, Харьков, 1971, с. 85—89.
10. Сутро Л. Л. Электронные модели глаза лягушки. — В кн.: Кибернетические проблемы бионики. Т. 2, М., «Мир», 1972, с. 291—298.
11. Кацалап С. Ф. Телевизионная модель детектора движения. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 12, Харьков, 1974, с. 129—136.
12. Полоник В. С. Телевизионные автоматические устройства. М., «Связь», 1974. 216 с.
13. Ахутин И. В. Преобразование оптических изображений дифференцирующей передающей телевизионной трубкой. — «Оптико-механическая промышленность», 1969, № 4, с. 18.
14. Катус Г. П., Здор С. Е. Поисковое устройство. «Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки». Авт. свид. № 312240, 1971, № 25.
15. Foote R. H. Moving target discriminator. Пат. США, № 3507992, 1970.
16. Masovski A. Elektron. motion detector. Пат. США, № 3336585, 1967.
17. Jaggy L. S. Moving target indicator tube having rectifying barrier target electrode. Пат. США, № 3218505, 1965.
18. Eberhart E. H. Radar storage tube for indicating moving objects. Пат. США, № 3174071, 1965.
19. Нефедов Ю. И. Использование телевизионных систем для пространственно-временной фильтрации изображений. Сообщение 1. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14, Харьков, 1975, с. 82—89.
20. Нефедов Ю. И. Использование телевизионных систем для пространственно-временной фильтрации изображений. Сообщение 2. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 15, Харьков, 1975, с. 130—140.
21. Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Бугай Ю. П. Исследование возможности анизотропного выделения контуров изображений в телевизионной передающей системе. — В кн.: Радиотехника. Вып. 11, Харьков, 1967, с. 170—176.
22. Коут А. Машинная интерпретация изображений на экране радиолокатора. — В кн.: Проблемы бионики. М., «Мир», 1965, с. 385—404.

Поступила 25 ноября 1975 г.

Г. А. КОЛОТЕНКО, А. Т. ФИЛАТОВ, д-р мед. наук.
В. И. КРЫГИНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ. С О О Б Щ Е Н И Е 7

Повышение эффективности целенаправленной деятельности операторов АСУ тесно связано с моделированием функциональных состояний головного мозга. Появляется возможность сопоставления физиологических показателей человека с входными параметрами ЭВМ, которые регулируют и управляют логическими электронно-диагностическими устройствами в гибридно-интегральном и интегральном исполнениях. Решение этих проблем требует долговременной исследовательской работы. Цель данного сообщения — выявление некоторых свойств диалектики моделирования систем синхронных и асинхронных связей головного мозга человека в норме и патологии.

Изучение деятельности головного мозга как целостной единицы позволяет перевести исследование пространственно-временной связи в нейробионическую плоскость системного анализа, создавая тем самым перспективные методологические пути развития, совпадающие с основными направлениями микроэлектроники. Под системой связей головного мозга понимается множество степеней свободы, синтезированных, проявляющихся интегрально, кооперативно, т. е. так, что при изменении одной степени свободы связи меняются в целом. Степени свободы — это позиционные компоненты структур пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, наделенные весом и вариабельностью. Структуры систем связей раскрывают архитектуру пространственно-временных отношений головного мозга. Вес — мера проявления структуры. Изменение веса структуры меняет степень свободы систем связей головного мозга.

Логико-семантическая интерпретация закодированного ЭЭГ материала позволяет строить объемные гомоморфные модели, наделенные полномочиями тезауруса. Под тезаурусом понимают множество смысловыражающих признаков закодированных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. В такой концепции системы синхронных и асинхронных связей всего многообразия структур имеют смысл, если при различных функциональных состояниях они, имея одинаковую структуру, отличаются весом. В этом заключается дополнительная возможность объективной дифференциальной диагностики.

Использовать модель вместо систем синхронных и асинхронных связей головного мозга удобно по целому ряду причин:

1) модель позволяет представить системы связей между регистрируемыми зонами головного мозга в форме, удобной для восприятия; 2) модель образно иллюстрирует аппроксимированные пространственно-временные архитектоники связей мозга; 3) теория моделей разработана лучше, чем теория систем. Краткое описание сущности гомоморфного моделирования систем синхронных и асинхронных связей головного мозга дано в работах [1, 2].

Информация — множество сведений, выраженных в форме систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Информация относительно полна, если определена условиями. Мерой количества информации может быть аддитивная функция, учитывающая начальную неопределенность ситуации, разрешаемой множеством систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Основная задача сопряжения систем синхронных и асинхронных связей головного мозга с ЭВМ и специализированными электронными устройствами состоит в том, чтобы практически использовать сведенное к однообразию первоначальное многообразие систем связей мозга, выступающих в форме возможностей и действительных случайностей. Отбор и коррелирование множества параллельных систем и подсистем приводит к достоверности событий и надежности. Множество параллельных вероятностных систем синхронных и асинхронных связей головного мозга в общей направленности приводит к переработке совокупности возможностей, выраженных разной степенью случайности, в действительность. При вероятной действительности достигается высокостабильная надежность функционирования целостного мозга как системы. Этот принцип работы головного мозга может быть заложен в основу бионических самоадаптирующихся устройств. Такие системы нельзя сравнить с параллельным метанием монет, так как при подбрасывании их отсутствует внутрисистемная связь. Этим существенно отличаются взаимосвязанные системы и подсистемы связей головного мозга от множества изолированно-локальных случайных событий, когда, в частности, целостное и единично разорвано и несоединимо.

Системы синхронных и асинхронных связей головного мозга имея одни и те же структуры, не всегда детерминированы. Они становятся такими потому, что ограничены стандартной системой регистрации, применяемой для определенных условий обстоятельств, целей и задач исследований. Целостное функционирование головного мозга представляет иерархическое множество систем синхронных и асинхронных связей головного мозга находящихся в непрерывном изменении. Самодвижение этих систем синхронных и асинхронных связей мозга, кажущееся случайным, слагает объективную необходимость. Случайное движение и самодвижения пространственно-временных связей головного мозга определяется случайными внешними и внутрен-

ними возмущениями. В зависимости от целенаправленности внешних возмущений можно корректировать движение пространственно-временных организаций головного мозга. Практическая необходимость приводит к «обратной управляемости» случайностью нейрофизиологических процессов.

В природе синхронизма и асинхронизма действуют бессознательные силы, определяющие общие направленности и представляющие совокупность разной степени вероятностных возможностей, которые стремятся к действительности и достоверности. Случайность — мера широкого диапазона. В одном из пределов она представляет достоверность — жесткую, детерминированную связь, характеризующую закономерность. Для различных ЭЭГ ни одна система синхронных и асинхронных связей головного мозга не достоверна. Вследствие индивидуальных особенностей она вероятностно-достоверна. При этом случайность систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, с одной стороны, обусловлена кажущимися незакономерными причинно-следственными отношениями. С другой стороны, целостность параллельно-случайных, аналого-взаимосвязанных, взаимопроникающих систем и подсистем связей головного мозга приводит к достоверности: случайная действительность в системном взаимодействии перерастает в достоверную действительность.

В силу целостного функционирования головного мозга случайные синхронные и асинхронные события рассматриваются системно. Множество иерархических систем создает высокую надежность системы «организм—внешняя среда». Гамма вероятностных по природе связей в совокупности и цельности своей образует достоверную направленность отношений, перерастая из вероятностных и редко случайных событий (вследствие нерасторжимой сцепленности друг с другом) в закономерности связей. При сопряжении физиологических показателей с ЭВМ важно не только выделить вероятностные системы синхронных и асинхронных связей головного мозга, но и разработать систему, срабатывающую от случайных входных сигналов, получить на выходе достоверный дифференцируемый результат. Бионическое устройство, основанное на принципе внутрисистемных и межсистемно-подсистемных связей головного мозга, позволяет одновременно установить параллельно-последовательные причинно-следственные отношения.

Гомоморфная модель синхронных и асинхронных связей головного мозга формируется из пространственно-временной конфигурации биоэлектрической активности. При моделировании таких систем возникает образ: множество n -мерных координат (зон регистрации), между которыми устанавливаются переменные пространственно-временные связи разной интенсивности, находясь в непрерывном движении, возникновении и исчезновении. На первый взгляд картина усложненная, хаотически-случайная, многообразная, кажущаяся непознаваемой и угрожающе абст-

рактной. Именно поэтому у некоторых исследователей, остановившихся на пороге системного нейрокибернетического анализа ЭЭГ, возникло убеждение, что только многообразие есть сущность электрофизиологических случайных процессов.

Изменение систем синхронных и асинхронных связей головного мозга во времени неизбежно приводит к изменению их в пространстве, что при анализе в первую очередь заметно на структуре. При переходе от времени t к $t + \Delta t$ системы синхронных и асинхронных связей меняются в пространстве от p до $p + \Delta p$. Разнообразие и однообразие данных систем оказывается ощутимым в пространстве и во времени, начиная с той полосы которую исследователь в состоянии обозреть, осознать и промоделировать. Переход от одной системы синхронных и асинхронных связей головного мозга к другой возможен только при помощи количественно-качественного преобразования структурных, весовых и вариабельных свойств этих систем. Как серебро Ag, железо Fe и другие вещества, разлагаясь, доходят до такого момента, когда различия между веществами становятся неотличимыми, так системы синхронных и асинхронных связей головного мозга в результате преобразований приобретают недифференцируемые количественные и качественные окраски.

Множества систем и подсистем головного мозга в каждый данный момент являются тем же самым и в то же время другим беспрестанно стремясь уничтожить, разрушить единство противоречий, порождая новые противоречия, видоизменяя сами системы и подсистемы синхронных и асинхронных связей головного мозга. Как только противоречие прекращается, для систем связей головного мозга наступает существенный момент. Обратимость систем синхронных и асинхронных связей головного мозга невозможна, так как невозможно повторение случайного эвристического однообразия в бесконечном разнообразии. Это закон неповторимости. В силу этого закона адекватность заменяется аналогией, поэтому в ЭЭГ различных людей при одинаковых функциональных состояниях, несмотря на индивидуальные особенности, улавливается общая направленность систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Переход от одного качества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга к другому возможен не только через структурное количество, но и через вес, вариабельность и другие свойства, которые составляют интегральную цельность множества систем и подсистем связей головного мозга в их дифференцируемо-единичном разнообразии.

Множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга меняют свои качества в следующих основных случаях:

1) при простом прибавлении, свидетельствующем о стремлении системы связей от локальности к диффузности, или вычтении структуры компонент, утверждающем обратный процесс — па

еход от диффузности к локальности, аналогично тому, как иеняется гомологический ряд соединений углерода:

$$F_s \rightleftharpoons F_s F_d \rightleftharpoons F_s F_d O_d \rightleftharpoons F_s F_d O_d O_s \rightleftharpoons \dots$$

это характерно для признаков вариационных рядов различных иерархических рангов);

2) вследствие вариабельности при сохранении в системах инхронных и асинхронных связей головного мозга:

а) равного количества структурных компонент и разного еса:

$$v_{F_s O_s} \neq v_{F_d O_s} \neq v_{T_d T_s} \neq \dots$$

(например, $v_{F_s O_s} = 10$ бит, $v_{F_d O_s} = 20$ бит);

б) равного количества структурных компонент и равного еса:

$$v_{F_s O_s} = v_{F_d O_s} = v_{T_d T_s} = \dots$$

(например, $v_{F_s O_s} = 10$ бит; $v_{F_d O_s} = 10$ бит),

то характерно для признаков однородных вариационных рядов;

3) если системы при различных функциональных состояниях имеют одну и ту же структуру и вариабельность, но различный ес v:

$$v'_{F_s O_s} = v''_{F_s O_s} = v'''_{F_s O_s} = \dots, v'_{F_s O_s} = 10 \text{ бит}, v''_{F_s O_s} = 20 \text{ бит}.$$

Существенна также вариабельность прямых и обратных, трицательных и положительных, заключенных в формах генезации и регенерации систем синхронных и асинхронных связей олового мозга. Все эти свойства систем условно синтезировать и разделимы при нейрокибернетическом анализе ЭЭГ. Единство противоречий структурного и весового схождения и расождения пространственно-временных организаций потенциалов олового мозга, вариабельности, разная скорость движения и самодвижения позволяют вскрыть относительный механизм ерехода от одного качества систем и подсистем к другому. В связи с этим можно оживить формулы Лоренца о сокращении иины при повышении скорости. Если повышение скорости свяать с ростом веса систем синхронных и асинхронных связей, то для ЭЭГ-нормы с увеличением частоты повторения, веса, свительствующем об ЭЭГ-активации, возрастает степень проявления локальных систем синхронных и асинхронных связей олового мозга. Коммутационные системы синхронных и локально-синхронных связей головного мозга в таком случае более быстродействующие, чем диффузные.

Устойчивое неравновесие систем синхронных и асинхронных связей головного мозга стремится к их относительному равновесию, движение и самодвижение этих систем нарушает относительное равновесие потенциально, как только появляется тен-

денция к равновесию систем связей мозга, поскольку отрицание отрицания создает относительно устойчивое неравновесие. В результате системы синхронных и асинхронных связей в естественно-необходимом развитии стремятся к завершенности форм, никогда их не достигая, так как всегда стремятся к достоверности, оставаясь вероятными, случайными. Устойчивая неустойчивость систем синхронных и асинхронных связей головного мозга — мир, далекий от евклидова мироздания, мир удивительный по оригинальности, восхитительный по своеобразию. Образно говоря, это «антимир» миропредставления, для которого характерно устойчивое равновесие.

Множества систем синхронных и асинхронных связей головного мозга не только прямонаправлены, но направлены под разными углами друг к другу и противонаправлены. Системы синхронных и асинхронных связей головного мозга множественно соподчиненные, когда общая направленность ЭЭГ во времени и пространстве оказывается не криволинейной или синусоподобной, как на энцефалографической диаграмме, а спиралеобразной. На протяжении жизни человека развитие ЭЭГ в целом можно представить в виде расходящейся спирали. Если нуль и бесконечность также разделимы, как и слиты, представляют единство противоречий систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, то устранение одного из утверждающих противоречий (нуля или бесконечности) приводит к существенному моменту обоюдпротивоположных и вместе с тем единых концов и начал. Следовательно, спираль пространственно-временного развития ЭЭГ на протяжении жизни человека можно представить вначале замкнутой расходящейся, затем сходящейся спиралью, а также замкнутой расходящейся спиралью, у которой начало теряется в одной из точек расхождения сходящегося с началом конца.

Пространство и время — формы существования движущихся систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. «Пространство» — система синхронных и асинхронных связей в аналоговости и дискретности их протяжения, расположении друг в друге и относительно друг друга в объеме и окрестностях головного мозга. «Время» — система синхронных и асинхронных связей головного мозга в последовательной определенности и длительности множества систем синхронных и асинхронных связей. Системы связей движутся только во времени и пространстве и не могут двигаться только во времени или только в пространстве. Это значит, что время и пространство для прямых и обратных положительных и отрицательных связей головного мозга не разделимы. Количество зон регистрации конечно в пространстве, но сами системы связей головного мозга количественно и качественно бесконечны. Для ЭЭГ выборки они конечны во времени, хотя для генерализованных ЭЭГ волн они безграничны.

Пространство и время систем синхронных и асинхронных связей головного мозга ограничиваются условиями нейрокибернетического анализа. При моделировании, когда в полную силу вступают законы эквивалентных преобразований, системы синхронных и асинхронных связей можно представить и в пространстве, и во времени, или независимо друг от друга, или совмещенно. В простейшем случае моделируются системы синхронных связей головного мозга, полученные на одном уровне анализа. Если же кодировать системы синхронных и асинхронных связей головного мозга на разных уровнях, то границы возможностей моделирования значительно расширяются и заменить его кросскорреляционный анализ ЭЭГ не в состоянии.

Пространственно-временные организации биопотенциалов головного мозга, двигаясь по сложной замкнуто-расходящейся спирали, имеют поступательную и вращательную составляющие. Спираль является суммарной равнодействующей. Системы синхронных и асинхронных связей, находясь в самообновляющемся самодвижении, накапливают и одновременно утрачивают связи; развиваясь в бесконечности разнообразия движения, системы синхронных и асинхронных связей мозга остаются тем, чем были раньше. При приближении к существенному моменту витки спиралеобразного движения систем синхронных и асинхронных связей мозга увеличиваются по радиусу. Пытаясь сойтись в нуль, спираль расходится, расширяется, рассеивается по составляющим, в действительности вероятно сходясь бесконечно в нуль. Относительного начала и конца существования систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, в силу многообразия и однообразия, не может быть и в то же время оно есть.

Система синхронных и асинхронных связей включает множество подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Если подсистемы не зависят от системы синхронных и асинхронных связей мозга, то они существуют в форме последовательности. Но если одна или несколько подсистем синхронных и асинхронных связей одномоментны с системой связей головного мозга, то форма последовательности осуществляется относительно не включенных в эту систему подсистем связей. Здесь относительность не только временная, но и структурная. Структура систем синхронных и асинхронных связей головного мозга — дифференцируемая целостность отношений единого множества систем головного мозга.

Структуры систем синхронных и асинхронных связей мозга, перемещаясь в пространстве и времени, находятся в самодвижении и движении. Существует иерархия движения множества систем связей головного мозга. Если бы они были все однонаправленными, то имелась бы однородность движения систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Движение систем связей головного мозга относительно и разнообразно. Одновременность множества систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга также относительна. Координация сменяющих друг друга множества систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга в целом различна и не повторима для каждого свойства в пространстве и во времени. Она может быть аналогичной, но не тождественной. В одних условиях множества систем и подсистем синхронных и асинхронных связей головного мозга относительно одновременны по отношению ко множеству окружающих и не входящих в них систем и подсистем связей мозга и не являются одномоментными как в пространстве, так и во времени по отношению к этим множествам в других условиях.

Таким образом, гомоморфные модели систем синхронных и асинхронных связей головного мозга, имитируя определенные биоэлектрические свойства, информативны, так как дают образные сведения об оригинале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерение и анализ синхронных потенциалов головного мозга методами теории обнаружения и алгебры Буля. — В кн.: Физические методы и вопросы метрологии биомедицинских измерений. Тезисы докладов III Всесоюзного семинара-совещания 23—26 апреля 1974 г. ВНИИФТРИ, с. 54—56. Авт.: Г. А. Колотенко, В. А. Аркатов, М. М. Ляшенко и др.
2. Гомоморфное моделирование синхронных потенциалов головного мозга. — В кн.: Физические методы и вопросы метрологии биомедицинских измерений. Тезисы докладов III Всесоюзного семинара совещания 23—26 апреля 1974 г. ВНИИФТРИ, с. 56—58. Авт.: А. Т. Филатов, Г. А. Колотенко, М. М. Ляшенко и др.

Поступила 20 сентября 1975 г.

УДК 62.506.2

В. Н. ЧУДАКОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАЛЬНЫХ И АНОМАЛЬНЫХ ФОРМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВАНИИ КВАНТОВО-ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ КОГЕРЕНТНОГО МОЗГА. С О О Б Щ Е Н И Е 1

Анализ и описание с физико-кибернетической точки зрения нарушений нормального и патологического интеллекта, а также интеллекта высокоодаренных людей является важнейшей проблемой искусственного интеллекта. Дело в том, что аномалии форм интеллектуальной деятельности имеют двойственный характер. С одной стороны, в случае деградации интеллекта разрушаются уровни мышления и система мозга утрачивает самоорганизацию, но с другой стороны, именно вследствие отклонений и аномалий возможна эволюция и самоорганизация формирующегося интеллекта [1, 5]. Следует также учесть тот факт, что работ-

мозга высокоодаренных и гениальных людей не поддается привычным оценкам и критериям интеллектуальной деятельности мозга.

Недалеко то время, когда бионики и кибернетики будут передавать своим моделям отклонения и аномалии. Созданные ими модели интеллектуальной деятельности мозга будут иметь аномалии и отклонения своих конструкторов. Поэтому уже сейчас возникает задача правильной классификации всего спектра нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности мозга.

Существующие классификации нормального, высокотворческого и патологического мышления автор считает неудовлетворительными по следующим причинам. Во-первых, в них не учитываются физико-физиологические механизмы, происходящие в когерентно настроенном мозге. При оценке аномалий работы мозговых структур не учитываются аномалии психики и эмоциональные стрессы, приводящие к продуктивной работе мозга, не укладывающейся в «нормальную» (логическую) работу мозга, но выступающей наряду с последней. Во-вторых, не учитывается взаимоотношение физико-физиологических и функциональных (кибернетических или концептуальных) механизмов в процессах интеллектуальной деятельности мозга. Вследствие этого моделируются в основном формально-замкнутые в логическом смысле системы, имитирующие только жесткую логико-аналитическую работу мозга, и совершенно не затрагиваются образно-эмоциональные, синтетические и другие формы интеллектуальной деятельности мозга.

Наша задача состоит в классификации нормального интеллекта и его аномальных модификаций; в классификации высокоодаренного интеллекта и его модификаций; в построении алгоритмов определения типа интеллекта и оценок (критериев) творческой или патологической продукции.

1. Материальные (физико-физиологические) и функциональные нарушения нормального интеллекта. Мы будем придерживаться точки зрения регресса интеллектуальной деятельности душевнобольного человека на онтогенетический, более низкий уровень развития [9]. В основе этих взглядов лежит идея о постепенном распаде интеллектуальных структур операций от высших форм к низшим. Материалом, питающим эти представления, явились следующие наблюдения: 1) имеется генетическое соответствие форм нарушений функционального мышления и способов поведения, которые по внешней структуре действительно напоминают операциональное мышление и лежащее в основе его интеллектуальное поведение ребенка на определенных стадиях его развития [16]; 2) при многих заболеваниях психики больные с нарушенным мышлением перестают справляться с более сложными видами интеллектуальной деятельности, сохраняя при этом простые умственные навыки и умения [15].

Классификация многообразия типов нейронов

Вид нейрона (автомата)	Классический, C					
	Детерминированный, D			Стохастический, S		
	ординарный O	информационный I	Волновой W	O	I	W
Обозначение вида нейрона	CDO	CDI	CDW	CSO	CSI	CSW
a_i -комплекс, первая компонента пары	1 (или σ)	$x_i e^{i\varphi_i}$	$x_i e^{j(k_i \vec{x} - \omega_i t)}$	p_i	$p_i e^{i\varphi_i}$	$p_i e^{j(k_i \vec{x} - \omega_i t)}$
\bar{a}_i -комплекс, вторая компонента пары	0 (или Λ)	$\bar{x}_i e^{i\bar{\varphi}_i}$	$\bar{x}_i e^{j(k_i \vec{x} - \omega_i t)}$	\bar{p}_i	$\bar{p}_i e^{i\bar{\varphi}_i}$	$\bar{p}_i e^{j(k_i \vec{x} - \omega_i t)}$
Ограничения на параметры	$\sigma + \sigma = \sigma$ $\sigma \cdot \sigma = \sigma$ $\sigma + \Lambda = \sigma$ $\Lambda + \Lambda = \Lambda$ $\Lambda \cdot \Lambda = \Lambda$ $\sigma \Lambda = \Lambda$	$x_i + \bar{x}_i = \sigma$ $\varphi_i + \bar{\varphi}_i = 2\pi$ $j^2 = 1$	$\overrightarrow{(k_i x_i - \omega_i t)} =$ $= 2\pi -$ $\overrightarrow{(k_i x_i - \omega_i t)}$ $\overrightarrow{(k_i \omega_i)}$ 4-х вектор	$p_i + \bar{p}_i = 1$	$p_i + \bar{p}_i = 1$ $\varphi_i + \bar{\varphi}_i = 2\pi$	$\overrightarrow{(k_i x_i - \omega_i t)} =$ $= 2\pi -$ $\overrightarrow{(k_i x_i - \omega_i t)}$

Экспериментальные исследования Павлова на животных подтверждают, что при патологии раньше всего нарушается то, что было приобретено позднее. Приобретенные условные рефлексы разрушаются при болезнях мозга значительно легче, чем безусловные. Исследованиями в области физиологии ВНД установлено, что поражение более поздних в филогенетическом отношении образований влечет за собой ослабление их регулирующие роли и приводит к «высвобождению» деятельности более ранних образований [8].

Прежде чем приступить к анализу и классификации форм интеллектуальной деятельности, приведем общую классификацию формальных (детерминированных, вероятностных), инфор-

Таблица 1

зависимости от структуры алфавитной пары $\langle a, \bar{a} \rangle$

Квантовый, Q					
Детерминированный, D			Стохастический, S		
O	I	W	O	I	W
QDO	QDI	QDW	QSO	QSI	QSW
b_i	$\frac{i\varphi_i}{b_i e^2}$	$\frac{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)}{b_i e^2}$	α_i	$\frac{i\varphi_i}{\alpha_i e^2}$	$\frac{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)}{\alpha_i e^2}$
\bar{b}_i	$\frac{i\bar{\varphi}_i}{\bar{b}_i e^2}$	$\bar{b}_i e^{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)}$	$\bar{\alpha}_i$	$\frac{i\bar{\varphi}_i}{\bar{\alpha}_i e^2}$	$\frac{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)}{\bar{\alpha}_i e^2}$
$ b_i ^2 + \bar{b}_i ^2 = 1$	$ b_i ^2 = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ $b_i^2 + \bar{b}_i ^2 = 1$ $\varphi_i + \bar{\varphi}_i = \pi$	$ b_i ^2 + \bar{b}_i ^2 = 1$ $\overline{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)} = \pi - j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$	$ \alpha_i ^2 + \bar{\alpha}_i ^2 = 1$ $0 \leq \alpha_i ^2 \leq 1$	$ \alpha_i ^2 + \bar{\alpha}_i ^2 = 1$ $\varphi_i + \bar{\varphi}_i = \pi$ $0 \leq \alpha_i ^2 \leq 1$	$ \alpha_i ^2 + \bar{\alpha}_i ^2 = 1$ $\overline{j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)} = \pi - j(\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$

рациональных, квантовых, волновых и квантово-волновых нейронов в виде табл. 1 [5]. Нейроны делятся на два больших класса: S и Q. Из нейронов разного типа формируются основные функциональные структуры: топологические, алгебраические, структуры порядка [17].

Все аномалии и нарушения интеллектуальной деятельности мозга разобьем на два больших класса: органические или материальные, связанные с расстройством физико-физиологических механизмов в нейронах, и функциональные или концептуальные структуры нейронов, состоящих из множества функционально взаимосвязанных нейронов разного типа.

Физико-физиологические или органические нарушения. Материальные нарушения связаны с органическим поражением мозга (травма, атеросклероз, инфекция и т. п.). В этих случаях поражается вещество мозга: клетки, волокна, оболочки. Они могут быть затронуты воспалительным процессом, механическим разрушением, изменены под влиянием ядов. Роль поврежденных участков берут на себя соседние или функционально связанные с пораженным телом клетки или системы мозга. При этом, несомненно, изменяется функция тех ансамблей клеток и структур, которые их заменяют. В физическо-физиологическом смысле нарушаются следующие механизмы:

1) механизм изменения пространственно-временных характеристик волн-сигналов $\vec{k}_i = k_i(\omega_i, x, t)$, $\omega_i = \omega_i(k_i, x, t)$, происходящего в волновых и квантово-волновых нейронах;

2) механизм когеренции (согласования) и переключения фаз типа $\varphi_i = \vec{k}_i x - \omega_i t$; $\bar{\varphi} = 2\pi - (\vec{k}_i x - \omega_i t)$; $\bar{\varphi}_i = \pi - (\vec{k}_i x - \omega_i t)$;

3) механизмы фазовой логики над фазовыми (эмоциональными) типами нейронов $\check{x}_i e^{i\check{\rho} f_i / 2}$, $\check{\xi}_i e^{i\check{\rho} \bar{f}_i}$, $e^{i(\check{k}_i x - \omega_i t) / 2}$, $\check{x}_i e^{i\check{\rho} f_i}$ [3]. Механизм образования эмоционального знака или состояния $\vec{\varphi}_i = \rho f_i$, где ρ — физический параметр селективной ценности принимаемого сигнала; \bar{f}_i — текущий эмоциональный взнос;

4) физический механизм записи и реконструкции волновых картин, осуществляемой особыми H , R и ρ -нейронами [4];

5) механизм редукции волн-сигналов.

Пусть имеем внешние нейроны A_1, \dots, A_n , внутренние B_1, \dots, B_m и нейроны активности C_1, \dots, C_r любого типа. Так как множество физических сигналов внешней среды носит скалярный характер, то из этого следует, что измерительная процедура, связанная с количественной характеристикой сигнала, исчерпывается измерением одной характеристики в данной точке пространства и в данный момент времени. С другой стороны, как показывают исследования функциональной структуры органов чувств (внешних приемников информации), во всех случаях имеет место увеличение размерности пространства состояний в процессе восприятия сигналов. В сущности, в процессе восприятия происходит увеличение физической размерности сигналов (размерностная перекодировка) в точках приема внешней среды как в органах чувств, так и в мозгу.

Для естественных и искусственных сигналов в процессе «восприятия» всегда должно происходить увеличение векторной размерности сигналов. Это приводит к повышению чувствительности воспринимающей системы к физически различным участкам вектор-сигнала; к «приписыванию» каждой точке воспринимаемой среды качественно особой и количественно определенной характеристики. Выражение $\langle n|m \rangle$ (где $n \ll m$) изображает меха-

низм редукции и описывает изменение размерности сигнала в процессе приема n -размерности в m -размерность [11];

6) механизм регенерации $\langle n | m \rangle = \sum_{p=1}^k \langle n | p \rangle \langle p | m \rangle$. В про-

цессе трансформации начальной n -размерности генерируемого сигнала в конечную m -размерность происходит множество последовательно-параллельных регенерационных процессов, в которых размерности отдельных сигналов сами испытывают регенерационную трансформацию. Это дает нам образы и их трансформации в разных образно-чувственных метрических пространствах [4].

Функциональные (концептуальные) нарушения. Мы исходим из концептуального характера функционирования мозга в форме нейрональной целостной системы, осуществляющей всю психическую (интеллектуальную) деятельность. В головном мозге из разных комбинаций нейронов существуют особые нейрональные функционирующие единицы, понятийно образующие, образующие-материальные нейронные ансамбли или концепт ансамбли нейронов (КАНЫ). КАНы — суть хранители понятий, образов (концептов), трансформаторы концептов и участники их синтеза на всех уровнях [14]. Из нейронов и КАНов образуются «технологические» перерабатывающие информацию линии, такие как структуры порядка, алгебраические структуры, топологические (метрические) структуры. Мы предполагаем, что структуры и КАНы из S и Q нейронов являются управляющими структурами над Q и S процессами или волнами-сигналами.

Для нормальной интеллектуальной деятельности мозга нарушения функциональных структур порождают ряд нервно-психических заболеваний. Нарушения и аномалии для высокоодаренных могут порождать новые способы и формы интеллектуальной деятельности. Это хотя бы вытекает из того факта, что глубокие творческие процессы протекают вдали от равновесия, имеют неустойчивый характер и должны удовлетворять нелинейным соотношениям типа Глансдорфа-Пригожина [1].

2. *Рассмотрение нарушений процессов и структур интеллектуальной деятельности мозга на основании квантово-волновой теории когерентной модели мозга.* В работе [9] мы выделили и описали наблюдаемые в словесном и операциональном или логико-алгебраическом поведении нарушения интеллектуальной деятельности мозга. Перейдем теперь к рассмотрению нарушений процессов и структур мышления, связанных с материальными и функциональными расстройками, происходящими внутри мозга на основании квантово-волновой и концептуальной природы мышления [2—4, 14].

Мыслительные процессы протекают в узлах (нейронах) четырехмерного решетчатого пространства. Это пространство мозга состоит из классических C и квантовых Q нейронных структур. Эти структуры приводят к осуществлению сферы сознания C -мышления и сферы бессознательного Q -мышления [2].

Бессознательные мыслительные процессы являются процессами квантово-волновой природы, протекающими в Q -нейронных структурах. Это преимущественно квантовые физические процессы (изменение состояний, трансформация, разложение и редукция сигналов без существенных потерь энергии когерентных между собой волн-сигналов). Пространственно-временные процессы распространения волн-сигналов являются Q -мыслительными процессами. В Q -структурах нейронов происходят преимущественно мысленные бессознательные эксперименты над образами отражаемой среды. Различные интерференции волн-сигналов порождают «ощущения», «чувствования». На этом уровне возникают различные чувственные и эмоциональные состояния [5].

Сознательные мыслительные процессы происходят на классическом уровне в переключательных узлах C -нейронов. C -нейроны образуют ветвящиеся иерархические 4-решетчатые сетевые C -структуры, а пространственно-временные процессы трансформации, перекодирования и взаимодействия волн-сигналов в них образуют C -процессы [2]. Сознательные процессы как правило связаны с символическим кодированием. Мы осознаем то, что можно выразить символом. C и Q нейронные структуры можно понимать как управляющие над потоками волн-сигналов. В свою очередь информационные физические потоки волн-сигналов являются самоорганизующим информационным Ψ -полем для нейронных структур. Нормальная и патологическая мыслительная деятельность связана с определенными соотношениями C и Q процессов и их переходами, физико-физиологическими механизмами преобразования волн, а также C и Q -структур управления.

Нарушения физико-физиологических механизмов при нормальном функционировании Q и C -структур. Будем считать, что эмоциональная сфера деятельности есть сфера чисто квантовых явлений и связана с деятельностью Q и Q^+ -подструктур мозга. В интеллектуальной деятельности эта сфера обеспечивает селективный отбор как информации, так и структур, эффективность поисковых механизмов, адаптивность, формирование эмоциональных знаков rf_i -подструктуры обеспечивают в основном логико-аналитические и символично-синтетические формы деятельности мозга. Эти структуры расположены по экспериментальным данным Лурия (1966) в лобных долях больших полушарий [15]. Нормальная мыслительная деятельность — это отсутствие нарушений процессов и структур C и Q . Преобладание Q -процессов над C -процессами при нормальном управлении C и Q -структур порождает эмоционально-чувственный тип мышления, связанный с конкретным образным содержанием (в ней-

рофизиологическом смысле у этого типа преобладает первая сигнальная система). Преобладание S -процессов над Q -процессами при нормальном управлении S и Q -структур порождает рассудочно-логическое (рациональное) мышление с абстрактным символическим содержанием (в нейрофизиологическом смысле этому соответствует преобладание второй сигнальной системы). И, наконец, когда S и Q -процессы уравновешены, это соответствует среднему типу.

К расстройствам восприятия относятся сенсорные (Q -нейроны) и вербальные (S -нейроны) иллюзии. С иллюзиями связано искаженное восприятие какого-либо предмета или целостных картин. При этом расстраиваются физические механизмы редукции $\langle n|m \rangle$, регенерации $\langle n|p \rangle = \sum_k \langle n|k \rangle \langle k|p \rangle$ и суперпозиции $N = \sum_{i=1}^n n_i^2$ волн-сигналов. В качестве примера можно привести дальтонизм, где вместо нормального трехмерного цветового пространства формируется двухмерное. Также может происходить гипермнезия или гипостезия чувств.

К нарушениям памяти относятся различные галлюцинации и амнезии. При галлюцинациях воспроизводятся ложные картины, которые принимают за картины воспринимаемой среды. В этом случае воспринимаются картины записи и реконструкции волн-сигналов. При патологии возбуждение H , R -нейронов в центральном конце анализатора происходит не вследствие внешнего раздражителя, а вследствие болезненных причин, связанных с генерированием волн-сигналов и их пространственно-временной трансформацией, которая может быть искаженной [2]. Поэтому в мозге вызывается голодинамическая картина, которая налагается на воспринимаемые картины внешней среды. От особенности локализации генерации «искаженных» и неуправляемых волн-сигналов могут возникать те или иные типы галлюцинаций.

В принципе бывает столько видов галлюцинаций, сколько у человека органов чувств, но чаще всего возникают слуховые и зрительные, которые могут выступать и отдельно, и одновременно [7].

При расстройстве механизмов когерентности, трансформации и согласования пространственно-временных характеристик $k_i = k_i(\omega_i, x, t)$, $\omega_i = \omega(k_i, x, t)$, $(k_i x - \omega_i t)$, наблюдается множество отклонений в интеллектуальной деятельности мозга. Для эмоционально-чувственного типа: ускорение или замедление образования ассоциативного многообразия образов, сенсопатический автоматизм, неврозные состояния, расстройства влечений. Для рассудочно-логического типа: ассоциативный автоматизм, нарушение динамики мышления, расстройство волевых усилий, резонерская форма мышления. Средний тип характеризуется инкогерентной формой мышления в целом (табл. 2).

Функциональные механизмы Физические механизмы	Нормальное управление С и Q-структур С и Q-процессами		
	Преобладание управления Q над C-структурами	Равновесная координация C и Q структур	Преобладание управления C над Q-структурами
Скоординированная работа физических механизмов	Эмоционально-чувственный тип	Средний тип	Рассудочно-логический тип
Нарушение механизмов трансформации и согласования $\vec{k}_i = \vec{k}_i(\omega_i, \vec{x}, t)$ $\omega_i = \omega_i(\vec{k}_i, \vec{x}, t), \hat{\varphi}_i$	Ускорение ассоциативного процесса; сенсопатический автоматизм; неврозы; расстройства влечений	Истерические психозы; инкогерентное мышление	Ассоциативный автоматизм; нарушение динамики мышления; расстройство воли
Нарушение механизмов переключения фаз $\vec{\varphi}_i = \vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t$ $\vec{\varphi}_i = 2\pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$ $\vec{\varphi}_i = \pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$	Резкие смены настроений; эйфория, дисфория, эхопраксия	Расстройства внимания; стереотипия;	Психопатия: 1) возбудимые; 2) тормозимые; персеверация мышления; эхомия
Нарушение механизмов записи и реконструкции (H, p, R нейрон)	Аффективные галлюцинации; делирий; образная навязчивость; аффективная амнезия	Обобщенные галлюцинации; амнезия	Символическая навязчивость; вербальные галлюцинации; вербальная навязчивость
Нарушение механизмов редукции и регенерации $\langle n p \rangle =$ $= \sum_k \langle n k \rangle \langle k p \rangle$	Гиперстезия; гипестезия; аффективные иллюзии	Обобщенные иллюзии; расстройства восприятия	Вербальные иллюзии; бессвязность мышления; нарушение формальных операций
Нарушение механизмов фазовой логики и эмоционального знака $\vec{\varphi}_i = \rho \vec{f}_i$	Обстоятельность мышления; формирование аффективных образных систем бреда	Параноя (нарушение осознания); формирование смешанных систем бреда;	Параноя (нарушение осознания) формирование символической системы бреда

При нарушении механизма переключений пространственных временных фаз $\vec{\varphi}_i = \vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t$, $\vec{\varphi}_i = 2\pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$, $\vec{\varphi}_i = \pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$

возникают для логического типа персерверации мышления, для эмоционально-чувственного типа — резкие смены интеллектуальной деятельности (разорванное мышление), резкие смены настроений (эйфория, дисфория). Для среднего типа характерны стереотипия и расстройство внимания.

При расстройстве механизма фазовой логики и механизма формирования эмоционального знака $rf_i = \varphi_i$ наблюдаются следующие нарушения. Для эмоционально-чувственного типа: возникновение аутистического мышления [7], формирование образных систем бреда. Для среднего типа характерны параноя (нарушение осознания), формирование смешанных систем бреда. Параноя вытекает из внутренних причин, связанных с расстройством механизма фазовой логики [5]. Развивается бредовая система, которая протекает при полном сохранении сознания, упорядоченности мышления, желания и действия [7]. В нейрофизиологическом плане бредовая система характеризуется стойкими КАНами с определенной жестко закрепленной фазовой логикой. Именно определенная фазовая логика КАНов характеризует особую устойчивую бредовую систему предпочтений.

При нормальном управлении S и Q -структур (КАНов) S и Q -процессами параноя носит квазиболлезненный характер, так как сохраняются сознание, правильность логических операций и чувственных реакций. Ошибочность мышления заключается в образовании болезненных представлений об отношении других людей к своей личности, обманов памяти [10].

3. *Расстройство функциональных S и Q -структур и физических механизмов.* Нарушенное или аномальное мышление есть одна из форм интеллектуальной деятельности вообще и имеет определенную приспособительную роль в особой психосоциальной среде. Но в отличие от социализированного мышления оно не подчиняется общим логико-алгебраическим нормам общения [16]. Существует два больших класса психофизической организации интеллектуальной деятельности: шизо и его производные — цикло и его производные [6]. От них берут начало цикло- и шизо-типы интеллекта. Шизо-интеллект в основном характеризуется абстрактным и символическим содержанием мыслительной продукции без чувственной и эмоциональной окраски и характеризуется в основном S -процессами и S -структурами.

Цикло характеризуется конкретным-образным с сильной эмоциональной окраской содержанием мыслительной продукции. В его основе лежат интеллектуальные чувства: неясные восприятия, выводы, умозаключения. При таких выводах и умозаключениях предпосылки и логические звенья остаются частично или полностью бессознательными [7]. Оно характеризуется в основном Q и Q^+ -структурами и процессами. Из этих двух классов можно образовать третий промежуточный класс — эпипто-интеллект и его производные. Такая организация форм ин-

Функциональные механизмы Физические механизмы	Нарушенное управление С и Q-структур С и Q-процессами		
	Преобладание управления Q над C-структурами	Равновесная координация С и Q-структур	Преобладание управления С над Q-структурами
<p>Нормальная работа физических механизмов</p> <p>Нарушение механизмов трансформации и согласования</p> $\vec{k}_i = \vec{k}_i(\omega_i, \vec{x}, t),$ $\omega_i = \omega_i(\vec{k}_i, \vec{x}, t), \varphi_i$ <p>Нарушение механизмов переключения фаз</p> $\vec{\varphi}_i = \vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t,$ $\vec{\varphi}_i = 2\pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t),$ $\vec{\varphi}_i = \pi - (\vec{k}_i \vec{x} - \omega_i t)$ <p>Нарушение механизмов записи и реконструкции (H, p, R-нейрон)</p> <p>Нарушение механизмов редукции $\langle n m \rangle$ и регенерации $\langle n p \rangle =$</p> $= \sum_{k=1}^N \langle n k \rangle \langle k p \rangle$ <p>Нарушение механизмов фазовой логики и эмоционального знака</p> $\vec{\varphi}_i = \rho \vec{f}_i$	<p>Обратимое отклонение циклотимия</p> <p>Формы циклофрении: а) депрессивный психоз; б) маниакальный психоз; в) маниакально-депрессивный психоз</p> <p>Циркулярная депрессия, циркулярный психоз</p> <p>Депрессия с навязчивостью; импульсивные влечения; онероидные состояния</p> <p>Истерики, неврастении</p> <p>Циклоидная психопатия</p>	<p>Обратимое отклонение (эпилептотимия)</p> <p>Большой эпилептический припадок; импульсивные действия; эпилепсия</p> <p>Нарколептический припадок; припадки Джексона</p> <p>Дерлиозные состояния сознания</p> <p>Эпилептическая аура; оглушенность</p> <p>Эпилептическое слабоумие; эпилептоидная психопатия; аментивное состояние сознания</p>	<p>Обратимое отклонение (шизотимия)</p> <p>Простая шизофрения</p> <p>Кататоническая форма</p> <p>Гебефрения с галлюцинациями</p> <p>Деперсонализация; параноидная форма, фантабическая парафрени</p>

теллеktуальной деятельности характеризуется равновесным соотношением Q и C-нейронных структур.

Функциональные состояния для шизоинтеллекта связаны с расстройствами логико-аналитических C-структур, для цикло-

интеллекта—эмоционально-мотивационных Q-структур, для эпилепто — комплексов С, Q-структур, обуславливающих механизмы сознания и осознания (табл. 3).

Функциональные нарушения без расстройства физико-физиологических механизмов дают обратимые отклонения в пределах норм здоровья. Это — шизотимия, циклотимия, эпилептотимия [6]. Циклотимия — очень смягченная форма маниакально-депрессивного психоза. Особенностью циклотимических и гипоманиакальных состояний является то, что они протекают с повышением психической продуктивности и возможностью активной творческой деятельности. История литературы, искусства, науки знает примеры создания выдающихся произведений, настоящих открытий в периоды гипоманиакальных состояний при циклотимии. При шизотимии возникает обостренное интеллектуальное чутье, сильно развитая интуиция. Для эпилептотимников характерна эгоцентрическая интеллектуальная деятельность [7] (см. табл. 3).

Преобладание С-мыслительных процессов, протекающих в С-нейронных структурах, ведет индивидуум к склонности к символическому. Обычно эта символика не связана с бессознательными образными Q-представлениями, лежащими в Q-структурах. Шизоид (или крайняя степень — шизофреник) преломляет среду сквозь символические схемы. Для людей с преобладающими С-процессами и нарушениями С-структур окружающая среда служит скорее для иллюстрации уже готовых выводов и умозаключений. Несогласие с очевидностью не смущает шизоида или шизофреника, он стремится только к тому, что требует его схема. Проявление интеллектуального поведения в форме бреда, галлюцинаций — собственно шизофрения [10].

Рассмотрим класс шизо-интеллектов с различными необратимыми нарушениями физико-физиологических механизмов. Группа шизоидов — это пограничные формы интеллектуальной деятельности между нормой и патологией. Для шизоидов характерно формирование несовместимых логических комбинаций и сближения понятий, ничего общего с действительностью не имеющих. Мыслительные процессы у шизоидов не окрашены эмоциями и чувствами. Из этого следует, что и шизоидов нарушаются С-структуры механизма фазовой логики [3]. Для группы шизофреников характерно изменение всей личности: обеднение, ослабление, притупление эмоционально-волевой сферы. Разорванность и разобщенность составных частей, элементов психики человека лишает его способности правильно, последовательно мыслить. Поток мыслей при шизофрении может претерпевать задержки, заторы; больной вдруг как бы перестает мыслить, отчего получается ощущение пустоты в голове и паузы в мышлении. Или же, наоборот, больному как бы накачивают в голову много мыслей, отчего ее как бы распирает. Расстройство в области мышления, обеднение, оскудение переживаний застав-

ляют больного сторониться окружающей жизни, уходить в себя, возникает аутизм (погруженность в себя) [7].

При шизофрении наблюдаются также импульсивные (внезапно, без всякой видимой причины возникающие) влечения и поступки. Характерный симптом шизофрении — галлюцинации бредовые идеи. Нарушение шизоидного типа мышления связано с расстройством S -структур и S -процессов, а также рассогласованием Q и S -структур.

Существует несколько форм шизофрении в зависимости от расстройств физико-физиологических механизмов. При нарушении механизмов когеренции и трансформации пространственно-временных характеристик $\vec{k}_i = \vec{k}_i(x, \omega_i, t)$, $\omega_i = \omega_i(k_i, x_i, t)$ возникает простая форма. Она характеризуется возрастающей эмоциональной тупостью и распадом логико-алгебраических структур операций. Циркулярная форма связана с расстройством механизмов переключения фаз $\varphi_i = \vec{k}_i x - \omega_i t$, $\varphi_i = 2\pi - (k_i x - \omega_i t)$

$\varphi_i = x - (k_i x - \omega_i t)$ и сходна с маниакально-депрессивным психозом. Основная разница в том, что при маниакально-депрессивном психозе не наблюдается снижение и распад уровней интеллектуальных структур. Гебефрения с галлюцинациями возникает в связи с расстройством механизмов записи и воспроизведения информации (H , R , ρ -нейроны). Особый случай занимает параноидная форма (парафрения). В основе лежат расстройства механизмов фазовой логики. Парафрения характеризуется длительным существованием синкретических образований символического и эмоционального бреда, который часто сопровождается галлюцинациями [12].

Рассмотрим класс цикло-интеллектов. Он характеризуется различными нарушениями функциональных Q -структур и расстройствами физико-физиологических механизмов. Однако при этих нарушениях не наблюдается распад уровней структур интеллекта [8]. Группа циклоидов является пограничной между нормальным и патологическим мышлением. Для циклоидов характерна неуравновешенная интеллектуальная деятельность. Как правило, у них расстроены механизмы фазовой логики и механизм формирования эмоционального знака $\rho f_i = \varphi_i$. Циклоиды как правило, не способны к длительным систематическим размышлениям, скоростижны в выводах, часто вступают в конфликт с обществом [10] (см. табл. 3).

Следующая группа цикло-интеллектов — это циклофрения. Существует несколько форм циклофрении. Циркулярный психоз, циркулярная депрессия связаны с расстройством управляющих Q -структур и механизмов переключения фаз типа $\varphi_i = \vec{k}_i x - \omega_i t$, $\varphi_i = \pi - (k_i x - \omega_i t)$. Течение интеллектуальной деятельности за

гормоно, мысли вырабатываются вяло, эмоциональные состояния отрицательные (не смешивать с эмоциональной тупостью шизофреников). При этом сохраняется ясность и четкость сознания. Маниакально-депрессивный психоз или собственно циклофрения характеризуется нарушением механизма когерентности и трансформации пространственно-временных характеристик $k_i = k_i(\omega_i, x, t)$, $\omega_i = \omega_i(k_i, x, t)$. Уровни интеллекта не нарушаются, мышление в основном чувственно-образное, то возбужденное, то сильно заторможенное. Рассудочно-логическое мышление водится к минимуму [7]. При маниакальных состояниях отмечается ускорение темпа мышления (интеллектуальное возбуждение), повышенное настроение. В радужных тонах оценивается прошлое и будущее. В общем имеется болезненное преувеличение талантов, положения, возможностей [6]. При депрессивном состоянии — заторможенность интеллектуальной деятельности, формирование чувства неполноценности [7].

При депрессии с навязчивостью расстроены механизмы записи и реконструкции целостной информации. К этой же группе относится и опероидное состояние. Оно выражается в ярких образных фантастических галлюцинациях и представлениях. При выходе из этого состояния больные помнят и с интересом удивлением их пересказывают.

При расстройстве механизмов редукций $\langle n | m \rangle$, регенерации $\langle n | p \rangle = \sum_{k=1}^N \langle n | k \rangle \langle k | p \rangle$, суперпозиции $N = \sum n_i$ возникают

различные неврозы, истерии, неврастения. При этом возникает неадекватное отражение воспринятых раздражителей, нарушаются отражательная и познавательная деятельность, а также адаптационные функции интеллекта.

Равновесие S и Q -структур образует класс эпилепто-интеллектов. Нарушения в эпилепто-интеллектах связаны с расстройством $Q-S$ -комплексов в виде различных припадочных состояний. Припадками называют внезапно наступающие скоропроходящие состояния с помрачением сознания вплоть до его утраты и судорожными или другими произвольными движениями. В структурном плане такие явления связаны с нарушением Q и S -структур КАНов одновременно. В отношении расстройств физических механизмов имеются разные формы проявления припадков. Если нарушены эмоциональные механизмы, такие как формирование эмоционального комплексного знака $\varphi_i = \rho f_i$, параметра селективной ценности ρ , то налицо эпилептоидная психопатия. У эпилептоидов, как правило, сильно развитое эгоцентрическое мышление. Они аморальны и интриганы, склонны к преступной деятельности. При расстройстве механизмов со-

гласования и трансформации пространственно-временных характеристик волн-сигналов налицо большой эпилептический припадок (эпилептофрения). Он характеризуется внезапной утратой сознания, последовательной сменой тонических и клонических судорог, заканчивающихся комой [12]. При расстройстве механизма записи реконструкции информации (R , H , S -нейронные структуры) возникают галлюцинации, что в психиатрии называют делириозным состоянием. Делирий характеризуется ложной ориентацией, наплывом ярких галлюцинаций, преимущественно зрительным расстройством сознания [12].

Эпилепсия связана с нарушением S -нейронных структур сознания. В связи с этим нарастает затруднение и замедление интеллектуальной деятельности, расстраивается память, все новое запоминается плохо. Очевидно, это связано с нарушением координации нейроглиальных систем. Припадок эпилепсии можно трактовать как полное расогласование всей коры мозга. Нарушается когерентность отдельных нейронных S -структур. Также отключаются сенсорные системы (например, зрачки расширены, не реагируют на свет). Происходит отключение S -структур и управление на себя берут Q -структуры — структуры, управляющие бессознательными мыслительными процессами. При расстройстве механизмов редукций, регенерации возникает эпилептическая аура и оглушенность. Аура выражается в виде неприятных ощущений, окружающий мир представляется в увеличенном (уменьшенном) и исковерканном виде. Для оглушенности характерно замедление восприятия и вообще всей интеллектуальной деятельности. Происходит частичная потеря сознания [10]. При расстройстве механизмов фазовой логики наступает аментивное состояние сознания. Оно выражается в бессвязности мышления, полной дезориентировки в месте, времени и в собственной личности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивости. — УФН, 1971, т. 109, вып. 3, с. 517—544.
2. Чавчанидзе В. В. К квантово-волновой теории модели когерентного мозга. ВИНТИ, № 4057—72. Деп.
3. Чавчанидзе В. В. К вопросу о пространственно-временных квантово-волновых процессах в нервных сетях. — «Сообщения АН СССР» 1970, т. 59, № 1, с. 557—560.
4. Чавчанидзе В. В. Самоорганизация дискретных систем. ВИНТИ № 2081—70. Деп.
5. Чавчанидзе В. В. Индуцирование психоинтеллектуальной деятельности. — В кн.: Проблемы управления интеллектуальной деятельностью Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 5—72.
6. Кречмер Э. Строение тела и характеры. М., 1930. 270 с.
7. Блейлер Э. Аффективность, внушаемость, параноя. Одесса, 1929. 138 с.
8. Кузнецов О. Н., Лебедев В. И. Психология и психопатология одиночества. М., «Медицина», 1972. 317 с.
9. Чудаков В. Н. Физико-математический анализ и формализация структур патологического мышления. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 11 Харьков, 1973, с. 51—58.

0. Михеев В. В., Нейман А. В. Нервные и психические болезни. М., Медгиз, 1959. 198 с.
1. Сб. Бионические принципы самоорганизации. Тбилиси, «Мецниереба», 1969. 158 с.
2. Кербиков О. В. Психиатрия. М., «Медицина», 1968. 436 с.
3. Клин. Арх. Гениальности и одаренности. Т. I, вып. 1, Л., «Практ. мед.», 1925, с. 10—110.
4. Чавчавадзе В. В. К общей теории концептуальных систем. — Сообщения НИИК, Тбилиси, 1973, с. 1—24.
5. Лурия А. Р., Цветкова Л. С. Нейропсихологический анализ решения задач. М., «Просвещение», 1966. 290 с.
6. Пиаже Ж. Речь и мышление ребенка. М.—Л., ОГИЗ, 1932. 411 с.
7. Пиаже Ж. Избранные труды. М., «Просвещение», 1969. 650 с.
8. Давиденков С. Н. Эволюционно-генетические проблемы в нейрпатологии. Л., 1947. 382 с.

Поступила 26 декабря 1975 г.

УДК 62.506.2

В. Ф. АНАНИН

БИОТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАНИЗМОВ КОДИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО СТИМУЛА В СЕТЧАТКЕ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА И ИХ РОЛЬ В ЗРИТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Глаз как индикатор дискретной структуры света впервые был использован С. И. Вавиловым [1], а его результаты экспериментальных исследований световых квантовых флюктуаций визуальным методом убедительно доказали правильность выбора. В самом деле, мысль о квантовой структуре света была высказана еще Ньютоном, затем развита Планком, Эйнштейном и рядом других исследователей. Однако никто из них из-за отсутствия в основном технического индикаторного устройства регистрации отдельных фотонов и уровня их энергии не смог предложить приемлемой методики, с помощью которой можно было бы регистрировать частицы света по Ньютону, кванты по Планку и фотоны по Эйнштейну. И лишь С. И. Вавилов, обратившись к глазу как физическому прибору, приспособленному к регистрации именно отдельных фотонов, смог показать прерывную квантовую структуру света путем наблюдения квантовых флюктуаций светового потока, ослабленного до порога палочковой чувствительности темноадаптированного глаза.

Именно экспериментальные исследования квантовых флюктуаций визуальным методом в значительной степени укрепили взгляды Вавилова на природу света как на квантовый процесс. «Едва ли... подлежит сомнению, — писал он, — большое физическое значение метода флюктуаций как метода, буквально воочию делающего ощутимой квантовую природу явлений» [1, с. 420]. Но С. И. Вавилов своими опытами доказал лишь один, главный факт корпускулярной точки зрения на природу све-

та — наличие фотонов, их дискретный принцип поглощения в сетчатке глаза.

Вторая, не менее важная сторона вопроса состоит в том, чтобы показать, каким образом энергия отдельного фотона трансформируется в рецепторный потенциал, и на основе этого дать объяснение механизмам кодирования энергетических характеристик внешнего стимула. Именно с помощью раскрытия механизмов кодирования

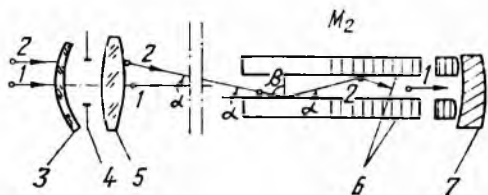


Рис. 1. Схема пути прохождения фотонов (1 и 2) через оптические среды глаза (3—5) и рецепторный слой (6), пигментный эпителий (7).

окажется возможным на наш взгляд, продолжить исследования С. И. Вавилова и показать, что квантовый характер света проявляется не только при пороговых, но и при больших мощностях светового потока.

Задача данной работы состоит в том, чтобы разобраться, ка-

ким образом сетчатка нашего глаза справляется с этим. Физическая основа механизма трансформации световой энергии в рецепторный потенциал, как это было показано ранее [2—4] заключается в преобразовании импульса фотона в механическую деформацию пигментного эпителия и фоторецептора вдоль его продольной оси с последующим преобразованием на основе пьезоэффекта механической деформации рецептора в непрерывно возрастающий рецепторный или, как его называют, генераторный потенциал [5]. Последний, в свою очередь, на уровне синаптического перехода, возможно, на участке между внутренними сегментами фоторецепторов и клетками внутреннего ядерного слоя, квантуется на пакет импульсов, которые далее конвергируют на ганглиозную клетку. Сам факт давления света на окружающие объекты был доказан, как известно, П. Н. Лебедевым [6]. Мы же его действие на сетчатку представляем, в соответствии с физической терминологией, в виде импульсов фотонов.

Последовательность процесса преобразования импульса фотона в рецепторный потенциал и далее в пакет импульсов может быть представлена на примере двух фотонов. Предположим, что глаз наблюдает бесконечно удаленный источник света, от которого на поверхность зрачка попадает параллельный пучок фотонов (рис. 1). Проследим за траекторией двух из них, один из которых проходит через центр оптической системы глаза, а другой (2) — через край зрачка. Траектория фотона 1 в соответствии с правилами геометрической оптики при прохождении оптических сред глаза не изменится, а на участке рецеп-

торного слоя его путь может проходить вдоль фоторецептора либо в промежутке между ними. По фотохимической теории зрительного процесса фотон распространяется вдоль фоторецептора. В соответствии с нашей точкой зрения траектория фотона проходит в промежутке между рецепторами. Наиболее наглядно это можно подтвердить на примере фотона 2, который, пройдя оптические среды, падает на фоторецепторы под углом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_3}{2f'}$$

где d_3 и f' — соответственно диаметр зрачка глаза и заднее фокусное расстояние оптической системы глаза. На поверхность рецептора он будет падать под углом $\beta = 90^\circ - \alpha$, т. е. близким к нормальному. Учитывая, что фоторецепторы имеют наружную мембрану, а показатель преломления светочувствительных элементов сетчатки выше, чем у окружающей их межклеточной среды [7, 8], и расстояние между рецепторами составляет от 0,5 до 1,5 мкм, можно констатировать, что для фотона на конечном участке его траектории — рецепторном слое складываются благоприятные условия для внутреннего отражения. Отсюда следует, что фотон не может пройти внутрь фоторецептора, а его путь проходит в промежутке между соседними фоторецепторами подобно прохождению света в световодах. Сам же рецепторный слой, с точки зрения прохождения через него фотонов можно рассматривать как биологический вариант световодов [7].

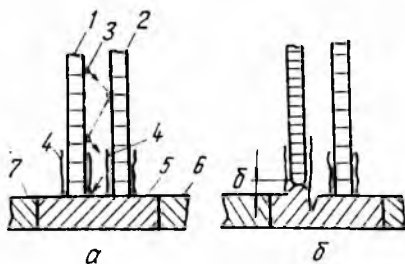


Рис. 2. Схема трансформации световой энергии в рецепторный потенциал: 1, 2 — фоторецепторы; 3 — фотон; 4 — отростки пигментного эпителия; 5, б, 7 — клетки пигментного эпителия: а — контакт торцовых поверхностей наружных сегментов фоторецепторов с клеткой пигментного эпителия до воздействия фотона на пигментный эпителий; б — после деформации локальных участков пигментного эпителия в результате попадания фотонов.

Пройдя в промежутке между соседними рецепторами и отражаясь от их боковых поверхностей, фотон попадает на клетку пигментного эпителия, которая и является той самой средой, принимающей импульс фотона. Под действием этого импульса происходит упругая деформация на величину b (рис. 2) того участка клетки, на который попал фотон. А так как между пигментным эпителием и наружными сегментами фоторецепторов имеется контакт [9] в виде своеобразного «замка», создаваемого проникновением отростков пигментного эпителия в промежутки между фоторецепторами, то деформация участка пигментной клетки, естественно, передается к наружному сегменту фото-

рецептора, который своей торцовой поверхностью упирается в этот участок клетки. Таким образом, под действием импульса фотона p_i происходит одновременная деформация пигментного эпителия и фоторецептора вдоль его продольной оси. При этом деформацию локального участка клетки пигментного эпителия можно определить так:

$$\delta_n = kp_i = kmV_i. \quad (1)$$

Здесь m — масса фотона; V_i — скорость фотона на выходе рецепторного слоя, а k — коэффициент, характеризующий упругие свойства пигментного эпителия.

Деформация фоторецептора

$$\delta_p = \eta \delta_n, \quad (2)$$

где η — коэффициент передачи деформации от пигментного эпителия к фоторецептору. Поскольку фоторецептор в соответствии с предложенной гипотезой (2) рассматривается как биологический вариант пьезодатчика, то по аналогии с пьезоэлементами нарастание электрического заряда в процессе механической деформации на выходе фоторецептора в общем виде можно представить формулой

$$U_p = k \frac{d\delta_p}{dt}. \quad (3)$$

В свою очередь наружный сегмент фоторецептора, как известно [9], состоит из дисков, насчитывающих в сетчатке человека от 800 до 1000. Каждый из таких дисков можно рассматривать как элементарный биологический пьезодатчик. В сумме они создают достаточно большой сигнал на выходе фоторецептора при одновременной высокой чувствительности к механической деформации фоторецептора вдоль его продольной оси. Поэтому в общем виде

$$U_{p_i} = kp_i = \Delta U_g z, \quad (4)$$

где ΔU_g — электрический заряд, снимаемый с одного диска при воздействии импульса фотона; z — число дисков в наружном сегменте фоторецептора.

Кругизна нарастания рецепторного потенциала

$$\gamma = \frac{dU_p}{dt} = f \left(\frac{d\delta_p}{dt} \right). \quad (5)$$

В свою очередь

$$p = \frac{1}{k} U_{p_{\max}} = \frac{1}{k} \gamma T, \quad (6)$$

где T — время, в течение которого создается $U_{p_{\max}}$, откуда

$$\gamma_i = \frac{kp_i}{T_i} = \frac{dU_p}{dt} = f \left(\frac{d\delta_p}{dt} \right). \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что крутизна нарастания рецепторного потенциала пропорциональна величине импульса фотона. Именно этим признаком γ сетчатка дифференцирует величины импульсов отдельных фотонов. В то же время известно [10], что на выходе ганглиозных клеток сетчатки и далее в зрительных волокнах имеет место дискретная информация в виде импульсов. Возникает вопрос, на каком уровне сетчатки происходит квантование непрерывного рецепторного потенциала на импульсные и каким образом далее сетчатка сохраняет признак γ ?

Квантование рецепторного потенциала, по нашему мнению, происходит в синаптических переходах и, в частности, на участке между внутренними сегментами фоторецепторов и клетками внутреннего ядерного слоя. Сам механизм квантования связан самым непосредственным образом с функциональными особенностями синаптической передачи, которая, как известно [11, 12], связана с активацией определенного химического вещества-переносчика—медиатора, освобождающегося в синаптическую щель при одиночном возбуждении пресинаптического волокна и оказывающего раздражающее действие на постсинаптическую мембрану. Проводимость же синаптической передачи односторонняя. При этом надо иметь в виду, что рецепторный потенциал на уровне синаптической передачи с учетом гистологических и функциональных особенностей передачи возбуждения с нейрона на нейрон распределяется с помощью синапсов на ряд элементарных зарядов ΔU_p , величина которого, по всей вероятности, определяется возможностями переноса величины заряда одним синаптическим пузырьком, причем в передаче ΔU_p имеется определенная временная последовательность, определяемая временем релаксации синапса и временем перехода заряда рецепторного потенциала от одного синаптического пузырька к другому. Таким образом, постсинаптический потенциал на клетках внутреннего ядерного слоя преобразуется в форму дискретных импульсов, причем импульсы формируются в виде одиночных пакетов, в которых временной интервал между импульсами определяет признак γ . Минимальный же временной интервал между соседними импульсами в пакете, по-видимому, определяется скоростью передачи ΔU_p от одного синаптического пузырька к другому. Поэтому число импульсов в пакете

$$f = \frac{U_{p\max}}{\Delta U_p}. \quad (8)$$

Если принять, что $\Delta U_p \approx \text{const} = c$, то

$$f = cU_{p\max}. \quad (9)$$

С учетом (4)

$$f = ckp. \quad (10)$$

При этом минимальное число импульсов в пакете должно быть не меньше двух, т. е. должно соблюдаться неравенство $f > 2$, определяемое условием передачи кода импульса фотона и достоверности приема информации нейронами высших центров. Таким образом, формула (10) отражает код передачи величины импульса фотона в число нервных импульсов в одиночном пакете на уровне сетчатки. Схематично процесс квантования рецеп-

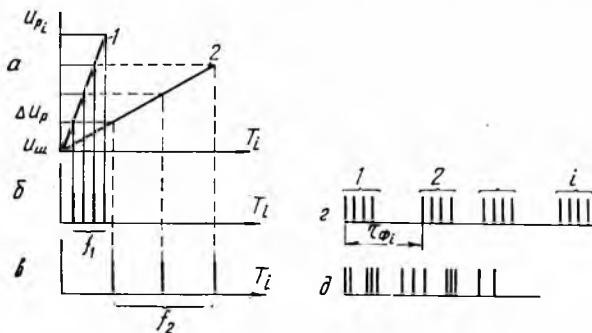


Рис. 3. Схема квантования рецепторного потенциала в пакет дискретных нервных импульсов: *a* — кривые нарастания рецепторного потенциала для фотонов с различной величиной импульса (1 и 2); *б* — частота импульсов, получаемая после квантования синаптической передачи рецепторного потенциала, соответственно для кривых 1 и 2; *в*, *г*, *д* — соответственно распределение пакетов импульсов на выходе ганглиозной клетки для монохроматического и белого света; τ_{ϕ_i} — временной интервал попадания фотонов на рецептивное поле.

торного потенциала на пакет импульсов можно пояснить на примере двух рецепторных потенциалов 1 и 2 (рис. 3) с разным значением γ . Видно, что частота импульсов в каждом пакете для рецепторных потенциалов с разной крутизной различна. Она тем больше, чем выше γ .

Поскольку яркость источника определяется плотностью фотонов на единице площади сетчатки за единицу времени, то логично допустить, что код яркости источника в сетчатке трансформируется в число пакетов, суммируемых с единичного рецептивного поля сетчатки. Под последним, как известно [13], имеется в виду число фоторецепторов, конвергирующих на одну ганглиозную клетку. Поэтому

$$B = fN \frac{1}{T_0}, \quad (11)$$

где N — число пакетов за условно взятый отрезок времени T_0 . Под T_0 подразумевается время между произвольными саккадическими движениями глаз, выполняющими роль биологического модулятора информации в зрительном процессе. Если оди-

ночный пакет импульсов создается одиночным фотоном и тем самым он в какой-то степени выполняет роль модулятора, то образование на выходе ганглиозной клетки группы импульсов, состоящих из одиночных пакетов импульсов, получается в результате толчкообразного смещения изображения с одного рецептивного поля на другое, осуществляемого саккадической системой глазодвигательного аппарата [3].

Таким образом, за счет глазодвигательной системы в нейронные ансамбли высших центров импульсации с выхода ганглиозных клеток поступает в виде отдельных групп импульсов, которые достаточно надежно дифференцируются ими на фоне статической шумовой импульсной активности зрительного тракта, причем посылки этих групп импульсов осуществляются синхронно, со скачками, временные интервалы между которыми колеблются. Именно за счет этих скачков и создаются дискретные динамические условия возбуждения нейронов зрительного центра, наилучшим способом приспособившихся к приему подобной формы информации.

Наличие подобных кодов значительно облегчает промежуточным звеньям зрительного тракта и нейронным ансамблям высших центров выделять информативный сигнал среди фоновой импульсной активности тракта. Несмотря на то, что эта активность представлена в виде непрерывной аритмичной и групповой пачечной импульсации [14], полезный сигнал, закодированный в сетчатке в виде своих специфических пакетов импульсов, безошибочно дифференцируется даже на фоне шумовой групповой пачечной импульсации. И все же, по-видимому, в зрительном тракте существует какой-то критерий оценки информативного сигнала среди фоновой импульсации. В технических системах таким простейшим критерием служит отношение порогового полезного сигнала к шумам, равное 1,5—2 единицам. Иначе говоря, достоверность выделения полезного сигнала на фоне шумов $f_{ш.с}$ достаточная при превышении его средней амплитуды в 1,5—2 раза средней амплитуды шумов. В зрительном тракте такой критерий можно выразить формулой

$$S_{пор} = \frac{f}{f_{ш.с}} N \geq 1,5 - 2.$$

Отсюда следует, что одного пакета импульсов недостаточно для нейронного ансамбля высших центров, чтобы вызвать ощущение, скажем, световой точки. Необходимо какое-то пороговое число пакетов, следующих с определенным временным интервалом. А это значит, что порог зрительного ощущения создается не одним фотоном, а несколькими.

Но подобное утверждение, видимо, справедливо для фотонов, создающих рецепторные потенциалы с малой крутизной нарастания, которые характерны в основном для палочек. Создание же пакетной импульсации с достаточно большой крутизной нарастания рецепторного потенциала и, как следствие этого,

высокой плотностью импульсов в пакете осуществляется, по-видимому, только колбочками.

В самом деле, при наличии непосредственной связи одиночной колбочки со зрительным волокном в центре фовеа у последней отсутствует возможность суммации импульсов. В то же время сигнал на выходе колбочки при ее возбуждении фотоном не может быть в виде одиночного импульса, так как его трудно было бы выделить среди фоновой импульсации. Кроме того, колбочки по своему функциональному назначению ответственны также за цветное зрение, что должно было найти свое отражение в характеристике выходного сигнала. Возникновение же пакета импульсов на выходе одиночной колбочки при возбуждении ее фотоном позволяет не только обойтись без зоны суммации, но обеспечить достаточно высокую разрешающую способность фовеа при четкой дифференциации энергии единичных фотонов различных участков спектра и надежном выделении сигнала на фоне шумов.

И, наконец, рассмотренные выше механизмы кодирования внешнего возбуждения позволяют зрительной системе решать одну из основных задач, свойственной каждой системе, будь то биологической или технической — обеспечение динамического диапазона. Глаз различает перепад входного сигнала порядка 10^8 [14]. О сохранении линейной зависимости между входным и выходным сигналами в данном случае не может быть и речи. По крайней мере в технических системах получение такого огромного динамического диапазона даже при использовании различного рода обратных связей представляет практически невыполнимую задачу.

В глазу в определенной степени она решается логарифмической зависимостью Вебера-Фехнера. И все же наш глаз справляется с обеспечением указанного выше динамического диапазона. Для этой цели привлечены: изменение диаметра зрачка, обеспечивающего изменение входного сигнала почти в 250 раз (изменение диаметра зрачка с 0,5 до 8 миллиметров); ступенчатая регулировка динамического диапазона путем перехода от высокочувствительных приемников — палочек к менее чувствительным — колбочкам, причем достаточно широко применяемая в технике; механизмы кодирования в сетчатке, зрительном тракте и нейронах высших центров; изменение размеров рецептивных полей.

Однако наибольшая часть динамического диапазона реализуется механизмами кодирования, начиная от сетчатки вплоть до зрительных центров. Здесь природа выбрала весьма своеобразный способ — видимый участок солнечного излучения зрительный анализатор квантует на отдельные области, придавая им цветовую окраску, в каждой из которых фотоны характеризуются определенным незначительно отличающимся уровнем энергии (цветовые тона), и тем самым задачу динамического диа-

диагона зрительный анализатор «решил» для себя как бы в виде суммы микродинамических диапазонов, представленных различными цветами. Обеспечение же динамического диапазона в области одного какого-либо цвета сводится к решению задачи кодирования изменения плотности фотонов этого участка спектра, т. е. к кодированию яркости цвета. В общем виде этот процесс можно представить ступенчатой кривой (рис. 4).

Палочный аппарат обеспечивает лишь часть динамического диапазона [1] и в основном при слабых уровнях фонового освещения. Колбочковый, наоборот — при больших значениях освещенности, причем участок динамического диапазона колбочкового аппарата разбит на отдельные цветовые области, в каждой из которых создается возможность в определенных границах сохранять пропорциональность между входным сигналом (плотностью фотонов на сетчатке) и выходным (ощущением яркости цвета). А в конечном итоге таким способом обеспечивается пропорциональность между входными и выходными сигналами по всему динамическому диапазону. При такой дискретной форме обеспечения динамического диапазона роль зрачка как регулятора части динамического диапазона становится более существенной для каждой отдельной области, чем когда она оценивалась по отношению ко всему динамическому диапазону.

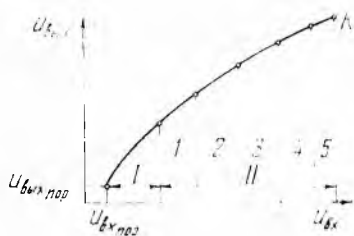


Рис. 4. Кривая динамического диапазона зрительного анализатора; I и II — соответственно области динамического диапазона, обеспечиваемые функционированием палочек и колбочек; 1, 2, 3, 4, 5 — соответственно участки динамического диапазона синего, красного, оранжевого, желтого и зеленого участков спектра.

Поступила 10 марта 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов С. И. Микроструктура света. Собр. соч. Т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1952. 544 с.
2. Ананин В. Ф., Филли В. А. Роль пигментного слоя в трансформации световой энергии в сетчатке глаза позвоночных. — В кн.: Сфераты докл. IV Всесоюзной конф. по нейрокибернетике. Изд-во Ростовск. ун-та, 1970, с. 8—9.
3. Ананин В. Ф. Непроизвольные саккадические движения глаз — биологический модулятор информации в зрительном процессе. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 14. Харьков, 1975, с. 47—51.
4. Ананин В. Ф. Аккомодация как биологическая система автоматического регулирования. — «Физиолог. журн. СССР», 1975, т. XI, № 8, с. 1190—1196.
5. Левенштейн В. Биологические датчики. — В кн.: Восприятие. М., «Мир», 1974, с. 97—108.

6. Лебедев П. В. Новые идеи в физике. — В кн.: Давление света. М., «Образование», 1912, с. 9—44.
7. Саттаров Д. К. Волоконная оптика. Л., «Машиностроение», 1973. 120 с.
8. Грибакин Ф. Г., Говардовский В. И. Структура зрительных пигментов и оптические свойства фоторецепторов. — «Усп. современной биологии», 1966, т. 62, вып. 4, с. 120—138.
9. Винников Я. А. Цитологические и молекулярные основы рецепции. Л., «Наука», 1971. 160 с.
10. Бызов А. Л. Электрофизиологические исследования сетчатки. М., «Наука», 1966. 96 с.
11. De Robertis E. Histophysiology of synapses and neurosecretion. N-Y, Perg. Press., 1964. 170 p.
12. Katz B. Nerve, muscle and Synapse. N-T, Toronto — Sydney, Mc Graw Hill Book Company, 1966. 200 p.
13. Глизер В. Д. Механизмы опознавания зрительных образов. М., «Наука», 1966. 90 с.
14. Чароян О. Г. Кибернетика нервных клеток. Изд-во Ростовск. ун-та, 1975. 110 с.

Поступила 15 декабря 1975 г.

УДК 62.506.2

В. Н. ЧУДАКОВ, В. В. МАКАРОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОМЕТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАМЯТИ

Среди множества особенностей живых организмов способность к запоминанию (память) является наименее изученной. Основными свойствами памяти являются: 1) отражение действия прошлых возбуждений — фиксация; 2) ретенция — сохранение этих возбуждений в виде следов — энграмм; 3) воспроизведение — способность вторично вызывать эти следы при решении задач распознавания образов; 4) нелокализованность — распределенная запись информации; 5) кинематичность процессов памяти; 6) мозаичность записи информации; 7) нелинейность протекания процессов фиксации и воспроизведения информации; 8) управления темпом субъективного времени записи и воспроизведения информации.

Запись информации — это передача информации во времени вместо передачи в пространстве. При запоминании в мозге идет трансформация энергии возбуждения нервных сетей в потенциальную энергию энграмм, т. е. сохранение части энергии происходящего возбуждения. Без памяти энергия бы рассеялась, т. е. имела бы место ее диссипация. Память направлена против роста энтропии мозга [1]. В общем случае она сохраняет упорядоченность и повышает различие между организмом и средой. Память можно подразделить на долговременную (изменение мозгового вещества) и кратковременную (целостные коллективные состояния возбуждений) [2]. С физической точки зрения фиксация в памяти и сохранение в ней заключается в переводе энергии возбуждения в информацию структурного характера, воспроизведе-

ние информации памятью заключается в обратном переводе уложенной на хранение информации в процессе возбуждения.

В настоящее время существует множество моделей памяти. Наиболее эвристичной из них является нейроголографическая модель памяти [3]. Однако даже эта модель основывается на неполной аналогии с процессом голографии и дает не более чем качественное описание. Она также неспособна объяснить свойства 6—9.

В соответствии с тезисом Эшби модель, точно имитирующая реальный объект, обычно бесполезна ввиду огромной сложности и необозримости, тем не менее существует класс моделей одновременно гибких, обозреваемых и допускающих физическую интерпретацию и наглядность. Это пространственно-временные или геометрические модели [4]. В работе [1] рассматривалась возможность моделирования памяти такими геометрическими структурами как пространство Минковского $E_{1,3}^4$. В данной модели геометрическому параметру $xyzt$ произвольно сопоставляется понятие плотность информации, скорость передачи с накоплением последней. Но эта модель не отражает таких свойств памяти как изменение субъективного (биопсихического) темпа времени и мозаичности записи информации в мозге. Для этого необходимо, чтобы пространство было анизотропным и неоднородным. Поэтому естественно перейти от $E_{1,3}^4$ к псевдориманову пространству $V_{1,3}^4$ (4 — индекс размерности пространства, 1,3 — сигнатурные).

В соответствии с идеей Земана [1] под геометрической моделью памяти будем понимать пространство информации. При этом сохранение происшедших ранее событий в памяти, не только событий внешнего мира, но и внутренних событий, каким является переработка опыта, оказывается тесно связанной с проблемой субъективного времени. В пространственно-временной модели зависимость хода субъективного времени может быть получена естественным геометрическим путем. Задаваясь метрикой модели в виде

$$dS^2 = g_{00}dt^2 - h_{ik}dx^i dx^k,$$

где $g_{00} = v^2 \varphi(t, I) = v^2 (1 - e^{-\frac{I(\tau)}{I^{\max}}})$; τ — физическое время; t — биопсихическое время; [5]; I — текущее значение информационного поля; v — фундаментальная скорость распространения информации в мозге; $h_{ik} = f_{ik}(t, I, x, y, z)$, причем $h_{ik}|_{t=\text{const}} dx^i dx^k$ — полная метрика на V^3 .

Связь биопсихического времени с физическим была установлена Бакманом в [1]: $t = c_1 \ln \tau + c_2$ (где c_1, c_2 — константы).

Конкретный вид g_{00} и h_{ik} определяется из условий совместности четырехмерной модели и трехмерной динамической реали-

зации, необходимости удовлетворить такому биопсихическому требованию как изменение темпа биопсихического времени. Например, однородность V^3 вытекает из V^4 распределенности памяти, его анизотропия — из мозаичности памяти, темп субъективного времени и его связь с накопленной мозгом информацией и физическим временем (временем реализующей $V_{1,3}^4$ трехмерной динамической модели) обуславливают вид g_{00} . Непосредственным рассмотрением можно убедиться, что все свойства памяти находят свое отражение в модели. Однако естественно, что такие существенно трехмерные свойства памяти как воспроизведение, фиксация, сохранение и надежность должны найти отражение в реализующей нашу систему трехмерной физической модели.

Связь между четырехмерными объектами геометрической конструкции и трехмерно-временными (трехмерно-динамическими) может быть получена из требований принципа соответствия [8]: 1) в статическом случае картина записи аналогична картине голографической записи [3—2]; 2) существуют механизмы, обеспечивающие в течение достаточно длительного времени многократную воспроизводимость и надежность.

Как известно, на макроскопическом уровне такие системы запрещены [6]. Конкретную реализацию этих систем будем искать на квантово-механическом уровне. Под квантово-механическим уровнем будем понимать такой уровень организации материи, на котором операторы наблюдаемых величин порождают некоммутативную алгебру Ли [7].

Правомерность такого подхода иллюстрируется следующим примером. Предположим, что в каждой нейронной клетке запись информации идет на квантово-механическом уровне. Определим минимальные размеры ячейки, способной хранить информации в течение времени τ . Информация I записана в виде $a_i e^{i p q_i}$ [2], и фиксируется точкой в указанной ячейке. Применяя принцип неопределенности Гейзенберга $\Delta p \Delta x \cong h$, оценим размер ячейки

$$\Delta p = \rho (\Delta x)^3 \frac{\Delta x}{\Delta t},$$

где $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ — плотность мозга; $(\Delta x)^3$ — объем ячейки; $\Delta t = \tau = 80 \text{ лет}$ — время жизни записанной информации;

$$(\Delta x)^3 = \left(\frac{T h}{\rho} \right)^{3/5} = \left(\frac{6,6 \cdot 10^{-27} \cdot 2,5 \cdot 10^9}{1} \right)^{3/5} \approx 827 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3.$$

Оказывается, что объем квантовой ячейки в среднем соответствует объему нейрона в мозге. Необходимо, однако, позаботиться о том, чтобы наша трехмерная модель обеспечивала на четырехмерном уровне существование таких объектов, как мировая линия носителя информации. Известно, что такая ситуа-

ция возможна, если волновой пакет, соответствующий каждому носителю информации, распространяется в бесконечной области. А это обозначает, что функции g_{00} и h_{ik} должны быть таковы, чтобы пространство, соответствующее информационному полю, было геодезически полным [9].

Таким образом, предложенная авторами модель памяти удовлетворяет всем формальным требованиям 1—9 и может быть в принципе реализована трехмерным физическим объектом с квантово-механическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земан И. Познание и информация. М., «Прогресс», 1966. 237 с.
2. Чавчашидзе В. В. Проблемы управления интеллектуальной деятельностью. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 13—64.
3. Вестлейк Н. О возможности протекания нейрологографических процессов в мозге. Кибернетические проблемы бионики, часть II, М., «Мир», 1972, с. 116—174.
4. Эшби У. Введение в кибернетику. М., «Мир», 1959. 311 с.
5. L. du Noû. Biological Time. London, 1936. 340 p.
6. Кобозев Н. И. Исследование в области термодинамики процессов информации и мышления. М., Изд-во МГУ, 1973. 289 с.
7. Макки Д. Лекции по математическим основам квантовой механики. М., 1965. 156 с.
8. Бор Н. Научные труды. Т. 1—2. М., «Мир», 1972. 761 с.
9. Уилер Д. Предвидение Эйнштейна. М., «Мир», 1970. 56 с.

Поступила 20 декабря 1975 г.

УДК 62.506.2

В. А. ЛОВИЦКИЙ

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ, ЗАДАНЫХ НЕЯВНЫМ НАБОРОМ ПРИЗНАКОВ

Проблеме формирования понятий с помощью ЭЦВМ в последние годы уделяется значительное внимание [1]. Интерес к ней особенно возрос после того, как возникла необходимость при построении систем с искусственным интеллектом формировать у нее представления «здорового смысла» об окружающей среде. В настоящей работе описываются принципы построения системы формирования понятий (СФП), ориентированной на работу с объектами, заданными неявным набором признаков. Все известные СФП [1] формируют понятия в процессе анализа объектов, заданных явным набором признаков. Это значит, что объекты представлены в виде последовательностей значений признаков, у которых за каждым местом закреплен один (общий для всех объектов) признак. Более строго данный вид объектов будем описывать следующим образом. Пусть задано конечное множество признаков $\Gamma = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, каждый из которых может принимать конечное число различных значений. l -е значение a_i -признака обозначим через $mng_j(a_i)$. Тогда лю-

бой объект, заданный явным набором признаков, можно представить как конечную последовательность значений признаков:

$$mng_{i_1}(a_{i_1}) \rightarrow mng_{i_2}(a_{i_2}) \rightarrow \dots \rightarrow mng_{i_k}(a_{i_k}),$$

где символ \rightarrow читается как „за ... следует ...“;

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

Если в последовательности вместо $mng_{i_\mu}(a_{i_\mu})$ стоит специальный символ *nil*, то это значит, что значение признака a_{i_ν} не определено.

Примеры объектов, заданных явным набором признаков, многочисленны. В области медицинской диагностики в качестве таких объектов можно рассматривать, например, последовательность значений соответствующих признаков: частоту пульса, величину артериального давления, некоторые показатели анализа крови и т. д.

Перейдем к рассмотрению объектов, заданных неявным набором признаков. Пусть задано конечное множество объектов H , которое будем называть генеральной совокупностью объектов $X_i (X_i \in H)$, и пусть на этом множестве существует такое его разбиение на два подмножества $H1$ и $H2$, что $H1 \cap H2 = \emptyset$ и $H1 \cup H2 = H$. Из множества H выделим подмножество X (принцип выделения X из H в данной работе не рассматривается) и, назвав его выборкой, зададим на нем, как на множестве, такое его разбиение на два подмножества $X1$ и $X2$, что $X1 \cap X2 = \emptyset$; $X1 \cup X2 = X$; $X1 \subset H1$ и $X2 \subset H2$. (Приведенное разбиение множества X на подмножества $X1$ и $X2$ несколько идеализировано. Более реальным является следующее разбиение: $X1 \cap H1 \neq \emptyset$ и $X1 \cap H2 \neq \emptyset$, т. е. $X1 \not\subset H1$, при этом $X2 \subset H2$ или $X2 \cap H1 \neq \emptyset$ и $X2 \cap H2 \neq \emptyset$, но $X1 \cap X2 = \emptyset$).

Любой объект $x_\nu \in X$ характеризуется конечной последовательностью символов a_i из алфавита $\Gamma = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, т. е.

$$x_\nu = a_{i_1} \rightarrow a_{i_2} \rightarrow \dots \rightarrow a_{i_l},$$

где $a_{i_j} \in \Gamma (i_j = \overline{1, m}; j = \overline{1, l})$ и $\exists_{x_j \in X} x_j (a_{i_\nu} = a_{i_\mu})$ при $\nu \neq \mu$.

Для описания объектов множества X в терминах «признак—значение» зададим конечное базовое множество признаков θ , значения которых определяются с помощью соответствующих им алгоритмов. В таблице приведено базовое множество признаков, используемое в конкретных системах СФП-1 и СФП-2, и указаны обозначения соответствующих им алгоритмов.

В данной статье не рассматривается вопрос о том, как были выбраны эти признаки и почему именно они составили базовое множество признаков. Заметим только, что было бы чрезвычайно заманчивым сформировать базовое множество из таких признаков, выделение значений которых человеком из объектов внешней среды осуществляется врожденными, встроенными в организм механизмами. Результаты, полученные нейрофизиологами и нейропсихологами [3, с. 147], позволяют думать о правомерности такой постановки вопроса.

В описании объектов рассматриваемого класса легко заметить по крайней мере одну особенность: для каждого из них значения признаков не заданы человеком заранее (как в предыдущем случае), а должны определяться самой системой. Если установление соответствия между каждым объектом и значениями первых двух признаков с помощью соответствующих алгоритмов A_1 и A_2 не вызывает затруднений, то процесс определения значений остальных признаков не так тривиален. В этом и состоит вторая особенность описания объектов, заданных неявным набором признаков.

Признаки			Алгоритм
обозначения	пояснения		
LNG	P_1	Количество символов в последовательности	A_1
SSN	P_2	Одинаковым символам входить в последовательность больше одного раза	A_2
SCS	P_3	Быть подмножеством заданного множества символов	A_3
SSS	P_4	Конечному множеству символов располагаться в определенной последовательности	A_4
DSS	P_5	Символам в последовательности находиться на определенном расстоянии по отношению друг к другу	A_5
NSL	P_6	Символам в последовательности слева направо находиться на определенных местах	A_6
NSR	P_7	Символам в последовательности справа налево находиться на определенных местах	A_7
OSB	P_8	Одному символу последовательности находиться на определенном расстоянии от начала последовательности	A_8
OSE	P_9	Одному символу последовательности находиться на определенном расстоянии от конца последовательности	A_9
EES	P_{10}	Равное число вхождений различных символов во все последовательности множеств X_1 или X_2	A_{10}
GES	P_{11}	Объединение числа вхождений различных символов во все последовательности множеств X_1 или X_2	A_{11}

В самом деле, если, например, считать, что объект характеризуется множеством n символов (порядок следования которых в данном случае не учитывается), то количество его подмножеств (значений 3-го признака) равно 2^n , а выбор конкретного значения данного признака для одного объекта не представляется возможным в связи с отсутствием критерия выбора того или иного значения. Поэтому значение таких признаков определяется путем анализа объектов множеств X_1 и X_2 . Для более строгого описания объектов рассматриваемого класса в терминах «признак—значение» введем ряд обозначений и определим. Тот факт, что каждому объекту x_v можно поставить в соответствие конечное множество значений p_i -признака, обозначим через $\{mng_j(p_i(x_v))\}$. Исключение составляет только первый признак, имеющий единственное значение для каждого объекта.

Определение 1. Под качественным признаком будем понимать такой признак, значение которого не отражает числовую характеристику объекта.

Например, качественными признаками будут порядковые номера, профессий (токарь — 1, врач — 2, тракторист—3 и т. д.) Для введенной нами системы признаков (см. таблицу) к качественным признакам относятся следующие: p_3, p_4 .

Определение 2. Будем говорить, что признак $p_i \in \theta$ имеет существенные значения, если выполняются два условия:

$$1) \forall x_v \in X_1 \exists p_i \in \theta (\bigcap_v \{mng_{j_v}(p_i(x_v))\} \neq \emptyset);$$

$$2) \forall x_v \in X_1 \exists p_i \in \theta \forall x_\mu \in X_2 (\bigcap_v \{mng_{j_v}(p_i(x_v))\} \cap (\bigcap_\mu \{mng_{j_\mu}(p_i(x_\mu))\})) = \emptyset),$$

где $\forall x$ — квантор всеобщности, а $\exists p$ — квантор существования.

Термин «существенный признак» означает, что признак имеет хотя бы одно существенное значение. Тот факт, что все объекты множества X_1 имеют существенный признак, обозначим $esnlX_1$.

Определение 3. Будем говорить, что признак $p_{i_2} \in \theta$ зависит от признака $p_{i_1} \in \theta$, если определение значений признака p_{i_2} связано с одним из значений признака p_{i_1} .

Например, чтобы найти значения признака $DSS(p_5)$ для объекта x , (таблица), необходимо вначале определить значение признака $SSS(p_4)$. Для данного примера множество значений признака DSS запишется следующим образом:

$$\{mng_j(p_5(mng_i(p_4(x))))\}.$$

На рис. 1 в виде иерархической структуры представлено базовое множество признаков (таблица). Как видно из рисунка,

независимыми являются признаки *LNG*, *SCS*, *EES* и *GES*, а зависимыми — *SSN*, *SSS*, *OSB*, *OSE*, *DSS*, *NSL*, *NSR*.

Определение 4. Признаки называются логическими, если их значения указывают только на наличие или отсутствие этих признаков в анализируемом объекте.

Таким образом, логический признак может принимать только два значения: «истинно» или «ложно» («да» или «нет», «1» или «0» и т. д.). Легко видеть, что любой признак вместе со своим значением можно представить в виде логического признака. В самом деле, пусть значение признака *LNG*(p_1) равно 5, тогда на основании данного признака и его значения получим следующий логический признак, представленный в виде вопроса: «длина последовательности равна 5?».

Определение 5. Логический признак называется существенным, если он основывается на существенном признаке и его значении.

Обозначение *lgc(esnlX1)* будет говорить о том, что существенный признак объектов множества *X1* преобразован в логический существенный признак.

Определение 6. Под понятием будем понимать обобщенную информацию о множестве объектов, представленную в виде логической функции, связывающей значения существенных логических признаков. Через *сnpX1* будем обозначать понятие множества *X1* и представлять его как *lgc(esnlX1)*, т. е.

$$сnpX1 = lgc(esnlX1). \quad (1)$$

В ряде случаев целесообразнее сформировать *сnp X1*, используя *сnp X2*. При этом

$$сnpX1 = \neg lgc(esnlX2). \quad (2)$$

Данные понятия представлены простейшими логическими функциями. Практически же при формировании понятий чаще всего приходится сталкиваться с таким множеством объектов *X*, что $\bigcap_{x, e \in X1} \bigcup_{p_i \in \Theta v} \{mng_{i, v}(p_i(x,))\} \neq \emptyset$ или

$$\bigcap_{x, e \in X1} \bigcup_{p_i \in \Theta v} \bigcup_{x_\mu \in X2} \left(\left(\bigcap_{v} \{mng_{i, v}(p_i(x,))\} \right) \cap \left(\{mng_{i, \mu}(p_i(x_\mu))\} \right) \right) \neq \emptyset.$$

В этом случае *сnpX1* определяется уже более сложными логическими функциями:

$$сnpX1 = \bigvee_i lgc(esnlX1_i), X1_i \subset X1 \quad (3)$$

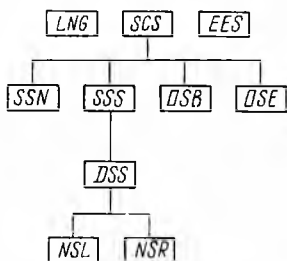


Рис. 1.

или

$$\text{снр}X1 = \bigcap_i (\forall \text{lgc}(\text{есnl}X2_i)), X2_i \subset X2, \quad (4)$$

$$\text{где } \bigcup_i X1_i = X1 \text{ и } \bigcup_i X2_i = X2.$$

В самом общем случае понятие, определенное на множестве объектов, заданных неявным набором признаков, будет описываться следующими выражениями:

$$\text{снр}X1 = (\forall \text{lgc}(\text{есnl}X1_i)) \wedge \bigcap_j (\forall \text{lgc}(\text{есnl}X2_j)), \quad (5)$$

$$\text{где } \bigcup_i X1_i = X1, \text{ а } \bigcup_j X2_j \subset X2, \text{ или}$$

$$\text{снр}X2 = \bigcap_i (\forall \text{lgc}(\text{есnl}X1_i)) \wedge (\forall \text{lgc}(\text{есnl}X2_j)), \quad (6)$$

$$\text{где } \bigcup_i X1_i \subset X1 \text{ и } \bigcup_j X2_j = X2.$$

Когда понятие $\text{снр}X1$ сформировано, то с его помощью можно определить принадлежность произвольного объекта $x_i (x_i \in H)$ множеству $X1$. Этот процесс будем обозначать через $\text{снр}X1(x_i)$. Если $\text{снр}X1(x_i) = 1$, то это значит, что $x_i \in H1$, а если $\text{снр}X1(x_i) = 0$, то $x_i \notin H1$. Первоначальная задача формирования понятий состоит в том, чтобы при $X1 \subset H1$ и $X2 \subset H2$ получить такой $\text{снр}X1$, что

$$\forall x_i \in H1 - X1 \quad \forall x_j \in H2 - X2 ((\text{снр}X1(x_i) = 1) \wedge (\text{снр}X1(x_j) = 0)). \quad (7)$$

Поскольку проблема выделения таких подмножеств $X1$ и $X2$ из соответствующих множеств $H1$ и $H2$, чтобы выполнялось условие (7), остается открытой, то в большинстве случаев рассматриваемая задача формирования понятий (см. выражение (7)) носит больше теоретический характер, чем практический. Для реальных же ситуаций более справедливо выражение (8):

$$\bigcap_{x_i \in H1 - X1} \bigcap_{x_j \in H2 - X2} ((\text{снр}X1(x_i) = 1) \wedge (\text{снр}X1(x_j) = 0)). \quad (8)$$

Система формирования понятий (СФП) — ошибаясь, «учиться на ошибках», — корректируя сформированные понятия, уменьшает процент ошибочных ответов. Сформированные понятия СФП хранит в виде «и/или» структур [2], что позволяет ей использовать приобретенные «знания» при формировании других понятий.

Построение такой СФП, которая каждое новое понятие формировала бы на основании своего «опыта», приобретенного в процессе формирования предыдущих понятий, и является одной из важнейших задач формирования понятий.

$IYSNT$ — переменная, принимающая два значения. Если $IYSNT = 1$, то СФП-2 анализирует объекты подмножества X_1 , а если $IYSNT = 2$, то объекты подмножества X_2 .

Если при определении существенных значений тех или иных признаков проверяется выполнение только первого условия (см. определение 2), то это записывается как p_{i_1} , или например, для конкретного признака, как SCS_1 . Если же проверяется выполнение обоих условий, то вводится обозначение $p_{i_{1,2}}$ или $SCS_{1,2}$.

Система СФП-2 реализует следующий алгоритм формирования понятий (рис. 2).

1. Предпринимается попытка среди всех объектов множества X_1 на первом уровне абстракции отыскать существенное значение признака ($I = 1$; $IABSTR = 1$; $IYSNT = 1$; $IPRG = |X_1|$). Блоки 1, 2, 4—6). Чтобы избежать полного перебора признаков, введен блок ЧАСИДО, который формирует алфавиты символов соответственно для объектов множеств X_1 и X_2 , подсчитывает частоту одноразового вхождения символов алфавитов в объекте соответствующих множеств X_1 и X_2 , а также частоту максимального вхождения каждого символа в объекты этих же множеств. Кроме этого, данный блок определяет длину каждого объекта как число символов, составляющих этот объект, и подсчитывает частоту встречаемости объектов определенной длины в соответствующих множествах X_1 и X_2 .

Анализ результатов работы блок ЧАСИДО позволяет из всего множества признаков выбрать подмножества таких признаков, значения которых теоретически могли бы быть существенными для всех объектов множества X_1 (блоки 8 (+или—), 9(+или—), 10 (+), 11—15 (+или—), 16 (+), 25 (+или—) и 26 (+). Если в результате анализа СФП-2 не может выделить такое подмножество признаков (блок 10 (—)), то она попытается найти значения признаков EES и GES (блоки 23, 24). Если существенное значение какого-либо признака найдено (блоки 8—9 (+), 11—16 (+), 23—26 (+)), то работа алгоритма оканчивается при $I = 1$ (блок 27 (+)).

2. В случае отрицательного исхода действий, выполняемых в п. 1, делается попытка выполнить аналогичную процедуру для объектов множества X_2 (блоки 16 (—), 24 (—), 26 (—), 17 (—), 18, 5, 7). Если удается найти существенное значение того или иного признака для всех объектов множества X_2 , то работа алгоритма оканчивается.

3. В случае неудачи СФП-2 переходит ко второму уровню абстракции (блоки 17 (+), 19 (—), 20, 3—4, 5 (+), 6) и все действия, описанные в пунктах 1 и 2, повторяются заново. В случае успеха алгоритм прекращает свою работу.

4. В противном случае (блок 19 (+)) СФП-2 переходит к изменению порогового значения (блоки 21 (—), 31, 2—4, 5 (+), 6), что приводит к попытке выделить во множествах X_1 или X_2 (в зависимости от значения $IYSNT$) такие подмножества мощ-

ностью не менее IPRG, все объекты которых содержали бы существенные значения какого-либо признака. Иными словами, после изменения порогового значения повторяются пункты 1—3. Так будет продолжаться до тех пор, пока понятие не будет сформировано (блоки 27 (—), 28 (+)). После минимизации понятия (блок 29) оно выводится на печать (блок 30). Сформированное понятие, в зависимости от сложности решаемой задачи, представляется в виде (1)—(6).

Если понятие не сформировано (блок 21 (+)), то это говорит о сбое в работе ЭЦВМ, при этом на печать выводится содержимое основных массивов и переменных СФП-2 (блок 22).

Рассмотренный алгоритм является сходящимся при формировании понятий любой сложности. Будем считать алгоритм формирования понятий *сходящимся*, если он обеспечивает формирование в конечное время понятия, разделяющего объекты обучающей выборки, принадлежащие X_1 или X_2 [1].

Теорема. *Время работы СФП-2 всегда конечно. Сформированное понятие полностью разделяет объекты обучающей выборки X на объекты, принадлежащие X_1 или X_2 .*

Справедливость данной теоремы очевидна, так как множества X_1 и X_2 конечны, сформированное понятие состоит из существенных значений признаков, охватывающих все объекты X_1 или X_2 , и СФП-2 всегда сформирует понятие, потому что при $IPRG=1$ СФП-2 будет работать с единичными подмножествами, для каждого объекта из которых существенное значение признака всегда будет найдено.

В заключение автор выражает глубокую благодарность профессору Э. Ханту за полезное обсуждение принципов построения СФП-2 и предложенного автором базового множества признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладун В. П., Ващенко Н. Д. Методы формирования понятий на ЭЦВМ (обзор). — «Кибернетика», 1972, № 2, с. 107—112.
2. Нильсон Н. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973. 301 с.
3. Прибрам К. Языки мозга. М., «Прогресс», 1975. 464 с.

Поступила 20 декабря 1975 г.

УДК 62.506.2

В. А. ПОПОВ, канд. техн. наук, И. Т. СКИБЕНКО, А. С. ВАСИЛЕНКО

ОБ ОДНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА

С развитием кибернетического подхода к анализу биологических объектов в центре внимания многих исследователей оказались явления «самоорганизации» и «самонастройки», для которых характерна способность менять свою структуру, добиваясь лучшего приспособления к меняющейся внешней среде.

Особенностью этих моделей является их дискретность, т. е. входные и выходные сигналы и состояние системы представляют собой значения из конечных множеств. Математической моделью таких систем может служить сеть из конечных автоматов искусственных нейронов, причем связи между отдельными автоматами могут меняться в зависимости от внешних воздействий. Каждый отдельный искусственный нейрон в свою очередь представляет многофункциональное устройство, способное менять свои функции в зависимости от сочетания сигналов, поступающих от соседних автоматов. Простейшим автоматом такого рода является модель искусственного нейрона «АРТРОН» [1].

В настоящей работе предлагаются две модели таких автоматов, а также метод их синтеза из элементов функционально-полного базиса. Первая модель является обобщением модели универсального логического модуля, реализующего все булевы функции трех переменных, предложенной в работе [2], и отличается от него возможностью организации «памяти» систем, что обусловлено способностью реализовать простейший автомат с двумя устойчивыми состояниями — триггер. Особенностью второй модели является способность воспроизводить все логические функции (ЛФ) одного специального класса, зависящие от большего числа переменных.

Множество внешних регулировок модели искусственного нейрона (МИН) содержит следующие преобразования входных переменных:

- а) дублирование входов — объединение нескольких входных переменных и присвоение им одного значения;
- б) фиксирование входов — присвоение некоторым входным переменным постоянного значения 0 или 1;
- в) переименование входов — перестановки и инвертирование некоторых переменных из группы T_n , содержащей $n!2^n$ элементов [3], где n — наибольшее число переменных у ЛФ, которые реализует МИН.

Каждой настройке соответствует определенная конфигурация на диаграмме Карно (рис. 1). В дальнейшем будем использовать диаграмму с позиционным кодированием [4].

Множество логических функций, подлежащих реализации в данной МИН, представим в виде массива ТИП, где функции располагаются в порядке уменьшения их сложности, т. е. в начале массива находится самая сложная логическая функция, а в конце — самая простая. Будем предполагать, что каждая ЛФ из этого массива имеет инвариант — некоторую характеристику, которая остается постоянной для всех ЛФ, отличающихся от заданной функции переименованиями из группы T_n . Это значит, что МИН реализует все ЛФ с точностью до преобразований из T_n .

Пусть модуль имеет m входов и должен воспроизводить ЛФ от n и менее переменных. Тогда общее число фиксирований

и дублирований на входах этого модуля определяется формулой

$$N = 2^p \frac{m(m-1) \dots (m-p+1)}{p!} \Phi_p(m),$$

где $p = m - n$, а функции Φ_p^m имеют значения

$$\Phi_1(m) = \frac{m+1}{2}; \quad \Phi_2(m) = \frac{(3m-2)(m+1)}{12};$$

$$\Phi_3(m) = \frac{(m-2)(m^2-1)}{8}.$$

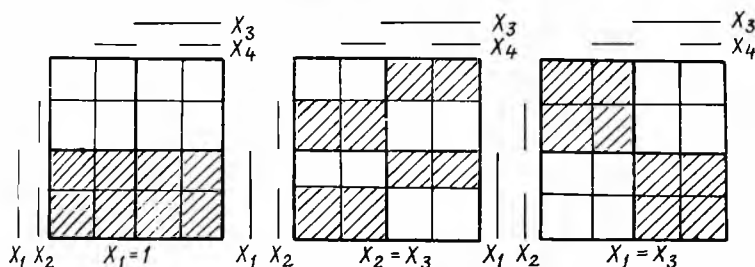


Рис. 1.

Все регулировки МИН объединим в массив РЕГ. Структуру модуля будем строить по следующему алгоритму.

1. Строим диаграмму для m переменных.

2. Выбираем первую регулировку из массива РЕГ. Строим конфигурацию, соответствующую этой регулировке.

3. Выбираем первую функцию из массива ТИП. Строим структуру модуля в соответствии с выбранной функцией и регулировкой. Для этого располагаем единицы, соответствующие ее СДНФ в клетках диаграммы, которые отмечены выбранной регулировкой.

4. Выбираем следующую регулировку из массива РЕГ и следующую типовую функцию из массива ТИП. Определяем структуру модуля, соответствующую выбранным функциям и регулировке.

5. Из множества клеток диаграммы, которые отмечены уже использовавшимися регулировками, строим новые регулировки и определяем типы (с помощью построенных инвариантов) получаемых при этом ЛФ.

6. Полученные регулировки выбираем из массива РЕГ, полученные типовые ЛФ — из массива ТИП.

7. Проверяем условие: множество ТИП пусто. Если условие выполнено, то следуем к п. 8, в противном случае возвращаемся к п. 4 алгоритма.

Предложенный алгоритм был использован при построении МИН, реализующей все логические функции четырех и менее переменных. Все полученные модули имеют минимально возможное число наружных выводов, причем внутренняя структура каждого модуля значительно проще структуры самоорганизующегося модуля «АРТРОН», что позволяет проектировать достаточно сложные искусственные модели сложных биологических систем, обладающих достаточной надежностью и быстротой действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Самоорганизующийся двоичный логический элемент. — В сб.: Проблемы бионики. М., «Мир», 1965, с. 429—434. Авт.: Э. Карн, Э. Конелли, П. Халпери и др.
- Об одном методе оптимального синтеза универсальных логических модулей. — «Изв. вузов, сер. Приборостроение», 1973, № 11, с. 42—46. Авт.: В. А. Попов, Н. К. Мокляк, И. Т. Скибенко и др.
- Поваров Г. Н. О групповой инвариантности булевых функций. — В сб.: Применение логики в науке и технике. Изд-во АН СССР, 1956, с. 263—341.
- Полов В. А. Упрощение булевых функций с помощью модернизированной карты Вейча. — Труды юбилейной научно-технической конференции «Развитие радиоэлектроники за 50 лет Советской власти», Харьков, 1967, с. 37—41.
- Грахтенброт Б. А. К теории неповторных контактных схем. — Труды математического института им. В. А. Стеклова. Изд-во АН СССР, 1958, т. 51, с. 226—256.

Поступила 20 августа 1975 г.

УДК 62.506.2

В. А. РАННЕВА, В. И. СЕРДОБОЛЬСКИЙ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ГРАММАТИК ПО ЯЗЫКУ

Целесообразное поведение организмов строится на основе формирования в процессе обучения моделей взаимодействия с окружающей средой. Наиболее общее математическое описание этого процесса требует, по-видимому, привлечения аппарата формальных языков и грамматик в сочетании с вероятностным подходом.

Настоящая работа посвящена построению лингвистических объектов, порождающих цепочки символов фиксированной длины по вероятностным законам. Выбор языков с фиксированной длиной слов обусловлен прикладным интересом. В частности, такой вид может иметь информация в медицинских, геологических и социологических задачах.

Вероятностные порождающие грамматики определяются как системы продукции с заданными вероятностями их применения [1]. Будем называть множество слов с заданной на нем вероятя-

ностной мерой вероятностным языком. При выборе моделей ограничимся классом вероятностных автоматных (ВА) грамматик.

Предложение 1. *Конечные языки порождаются ациклическими грамматиками.*

Предложение 2. *Грамматики, порождающие языки с фиксированной длиной слов, имеют уроневую структуру: каждый из вспомогательных символов j -го уровня участвует только в порождении символов, стоящих на j -м месте в словах языка.*

Реализация требует ограничений на число операций и объем памяти. Однако в классе грамматик, порождающих языки с фиксированной длиной слов (ВА (l)), число вспомогательных символов с ростом длины слов l может расти как r^l , где l — число символов в алфавите. Поэтому из класса ВА (l) выделим подкласс грамматик с неэкспоненциальным числом параметров, в которых число вспомогательных символов на каждом уровне ограничено величиной k . Такие грамматики будем называть трубочными $T(k)BA(l)$. Максимальное число вспомогательных символов в них $k(l-1) + 1$.

Сложность синтаксического анализа слова x в грамматике G при данном алгоритме $W_G(x)$ будем характеризовать числом продукций, которое необходимо просмотреть, чтобы вычислить вероятность слова x . Синтаксическую сложность вывода в грамматике G можно определить как $W_G = \max_x W_G(x)$. Зададимся тактикой подсчета вероятности x и G путем систематического просмотра всех продукций, порождающих символы слова последовательно по уровням, начиная с аксиомы. Прямой подсчет показывает, что справедливо следующее утверждение.

Предложение 3. *Для класса $T(k)BA(l)$ грамматик верна оценка сложности синтаксического анализа*

$$W_G \leq r(2k + k^2(l-2)). \quad (1)$$

Представляет интерес подсчитать количество необходимых операций для вычисления вероятности слова x . Рассмотрим грамматику, в которой на каждом уровне, кроме первого, имеется N вспомогательных символов — синтаксических состояний. На первом уровне находится одно состояние — аксиома $\sigma = \xi_{11}$.

Введем обозначения: ξ_{ji} — i -е состояние на j -м уровне; $q_i[ji, i']$ — вероятность продукции $\xi_{ji} \rightarrow \tau\xi_{j+1,i'}$; $j = 1, \dots, l$; $i = 1, \dots, k$; $i' = 1, \dots, k$; $\tau = 0, 1, \dots, r-1$. Вероятность вывода слова $x = x_1x_2 \dots x_l$ в $T(k)BA(l)$ в грамматике имеет вид

$$q(x) = \sum_{i=1}^k q(\xi_{1i} | x) q(\xi_{1i} \rightarrow x_l). \quad (2)$$

Вероятности состояний ξ_{ji} при условии вывода x вычисляются по следующим формулам:

$$q(\xi_{2i} | x) = q(\sigma \rightarrow x_1 \xi_{2i}), \quad i = 1, \dots, k;$$

$$q(\xi_{j+1m} | x) = \sum_{i=1}^k q(\xi_{ji} | x) q_{x_j} [ji, m]. \quad (3)$$

Суммируя количество операций в формулах (2) и (3), получаем требуемую оценку.

Предложение 4. В $T(k)BA(l)$ грамматиках для вычисления вероятности слова x необходимо выполнить не более $2k + 2k^2 \times \chi(l-2)$ арифметических операций.

Чтобы описать структуру языка, порожденного объектом, будем оптимизировать модели, представленные $T(k)BA(l)$ -грамматиками.

Алгоритм стохастической аппроксимации. Для вычисления оптимальных параметров моделирующей грамматики по реализациям слов, поступающих от объекта, применим метод стохастической аппроксимации [2]. Настраиваемыми параметрами модели являются вероятности продукций грамматики. В целях единообразия представления $T(k)BA(l)$ -грамматики в параметрическом виде будем считать все допустимые при данных k и l продукции разрешенными с вероятностью, отличной от нуля. При переходе от состояния ξ_{ji} к ξ_{j+1i} допускается порождение всех символов алфавита.

Будем оптимизировать модели по критерию минимума функционала смешанной энтропии

$$\min S(p, q) = \min \left(- \sum_x p(x) \ln q(x) \right), \quad (4)$$

где x — слово на входе модели; $p(x)$ — неизвестная вероятность слова в исходном языке; $q(x)$ — вероятность x в языке, порожденном моделью.

Функционал $S(p, q)$ с точностью до константы измеряет расстояние между вероятностными языками. При $q(x) = p(x)$ величина $S(p, q)$ достигает минимального значения. Условия минимума $S(p, q)$, очевидно, совпадают с условиями максимального правдоподобия.

Получим выражение для вероятности $q(x)$. Назовем путем s последовательность состояний $\xi_{2i_2}, \dots, \xi_{i_i}$, образующуюся при выходе некоторого слова. Вероятность получить слово x вдоль пути s выражается формулой

$$q(x, s) = \prod_{j=1}^l \sum_{\tau=0}^{r-1} q_{\tau} [ji, i'] \delta(\tau, x_j),$$

где

$$\delta(\tau, x_j) = \begin{cases} 1 & \text{при } x_j = \tau; \\ 0 & \text{при } x_j \neq \tau. \end{cases}$$

Вероятность вывода x в данной грамматике

$$q(x) = \sum_s q(x, s). \quad (5)$$

Алгоритм стохастической аппроксимации имеет вид

$$\frac{dq_{\tau}[jm, m']}{dt} = \gamma \frac{\partial \ln q(x)}{\partial q_{\tau}[jm, m']}, \quad (6)$$

где γ от x зависит.

В качестве независимых параметров выберем вероятности продукций $q_{\tau}[jm, m']$ для $j = 1, \dots, l$; $m, m' = 1, \dots, k$; $\tau = 0, 1, \dots, r-1$, причем при $m' = 1$, $\tau \neq 0$.

Учитывая условия нормировки для каждого состояния

$$\sum_{i'=1}^k \sum_{\tau=0}^{r-1} q_{\tau}[ji, i'] = 1, \quad (7)$$

параметры $q_0[ij, 1]$ будем считать функцией независимых параметров.

Вычислив частные производные в (6), получим

$$\frac{dq_{\tau}[jm, m']}{dt} = \gamma \left(Q[jm, m'] \frac{\delta(\tau, x_j)}{q_{\tau}[jm, m']} - Q[jm, 1] \frac{\delta(0, x_j)}{q_0[jm, 1]} \right). \quad (8)$$

Здесь

$$Q[jm, m'] = \frac{1}{q^x} \sum_s^{jm, m'} q(x, s); \quad (9)$$

s — индексы путей, проходящих через пару состояний $\xi_{jm}, \xi_{j+1m'}$.

Однако видно, что алгоритм (8) не удовлетворяет необходимым условиям сходимости [2], так как компоненты градиента неограниченно растут при $q_{\tau}[jm, m'] \rightarrow 0$.

Получение сходящегося алгоритма. Поскольку функционал $S(p, q)$ имеет логарифмическую особенность, возникают трудности при доказательстве сходимости алгоритмов. Для данной задачи, оказывается, можно получить сходящийся алгоритм, введя новую параметризацию:

$$u_{\tau}[jm, m'] = \ln \frac{q_{\tau}[jm, m']}{q_0[jm, 1]}, \quad (10)$$

$j = 1, \dots, l$; $m, m' = 1, \dots, k$; $\tau \neq 0$ при $m' = 1$.

Переход к параметрам (10) требует вычисления частных производных по $u_\tau[jm, m']$.

Лемма. Если между параметрами $q_\tau[jm, m']$ и $u_\tau[jm, m']$ имеет место соотношение (10) и выполнено условие (7), то

$$\frac{\partial q_\tau[jm, m']}{\partial u_\tau[jm, n']} = q_\tau[jm, m'] \delta(m', n') \delta(\tau, \tau') - q_\tau[jm, n'], \quad (11)$$

$$j = 1, \dots, l; m, m', n' = 1, \dots, k; \tau, \tau' = 0, \dots, r = 1.$$

Получим алгоритм в новой параметризации, используя (6), (8) и (11):

$$\frac{du_\tau[jm, n']}{dt} = \gamma \left(Q[jm, n'] \delta(\tau, x_j) - q_\tau[jm, n'] \sum_{m'=1}^k Q[jm, m'] \right), \\ j = 1, \dots, l; m, m' = 1, \dots, k; \tau = 0, \dots, r = 1. \quad (12)$$

Для доказательства сходимости оценим правую часть (12). По определению (9) $Q[jm, m']$ — это отношение суммы вероятностей получения x по путям, проходящим через состояния ξ_{jm} и $\xi_{j+1m'}$, к суммарной вероятности выхода x в грамматике. Очевидно, что $0 < Q[jm, m'] < 1$, $j = 1, \dots, l$; $m, m' = 1, \dots, k$. Суммируя $Q[jm, m']$ по m и m' , мы суммируем по всем путям, порождающим x , поэтому

$$\sum_{m=1}^k \sum_{m'=1}^k Q[jm, m'] = 1.$$

Отсюда

$$\left| Q[jm, n'] \delta(\tau, x_j) - q_\tau[jm, n'] \sum_{m'=1}^k Q[jm, m'] \right| \leq 2,$$

т. е. компоненты градиента в (12) равномерно ограничены. Согласно [2], теперь для сходимости алгоритма достаточно выбрать коэффициенты из условий

$$0 < \gamma[n] \leq \gamma_0, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \gamma[n] = \infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \gamma^2[n] < \infty.$$

Выбор коэффициентов γ может существенно повлиять на скорость сходимости алгоритма. Для ускорения сходимости вычислим γ по формулам

$$\gamma_\tau[n] = 1 / (1 + q_\tau(1 - q^\tau) \sum_{l=1}^n \sum_{m'=1}^k Q[l]),$$

где q_τ и $Q[i]$ зависят от jm, m' , согласно (6) и (9), по аналогии с оптимальными выражениями для γ .

Экспериментальное изучение алгоритма. В экспериментах на ЭВМ выборка слов для рекуррентного оценивания параметров порождалась некоторой заданной вероятностной грамматикой типа $T(k)$ $BA(l)$. Были решены задачи восстановления вероятностных грамматик. Структуры порождающей и моде-

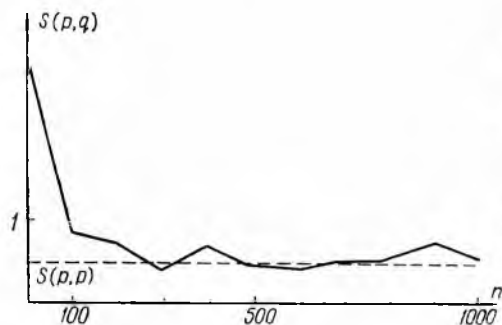


Рис. 1. Смешанная энтропия после n шагов.

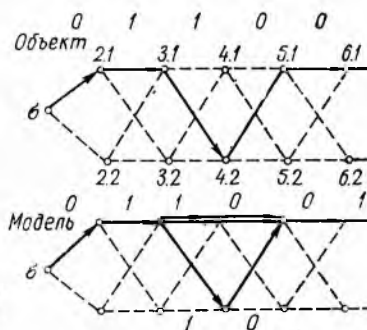


Рис. 2. Восстановление $T(2)$ $BA(6)$ грамматики.

лирующей грамматик выбраны одинаково, что позволило сравнить их параметры.

В первом эксперименте восстанавливалась простейшая однозначная трубчатая грамматика с $k = 1$, что соответствует статистически независимому порождению символов в слове.

Модель порождает тот же язык, что и исходная грамматика, причем после 1000 шагов среднее расхождение между вероятностями продукций составило 0,004, энтропийное расхождение по мере Кульбака между порожденным моделью и исходными языками $S(p, q) - S(p, p) = 0,0053$ дв. ед. В этом случае достигнуто восстановление как языка, так и грамматики. Зависимость оценки смешанной энтропии $S(p, q)$ от числа шагов n , отражающая динамику процесса сходимости алгоритма, приведена на рис. 1.

Смешанная энтропия $S(p, q)$ с ростом n убывает с небольшими флуктуациями, приближаясь к собственной энтропии языка $S(p, p)$. Во втором эксперименте, когда энтропия порождающей грамматики была близка к максимальной — $S(p, p) = 1,97$ дв. ед., $S_{\max} = 2,01$ дв. ед., восстановления языка не произошло.

В третьем эксперименте (рис. 2) исследуемая выборка слов порождалась $T(2)$ $BA(6)$ грамматикой.

После 800 шагов было достигнуто восстановление языка — моделирующая грамматика, как и исходная, почти детерминированно порождает слово 011001, но путь порождения этого слова в модели разветвился на два пути. Смешанная энтропия $S(p, q)$ уменьшилась от 4,23 до 0,51 дв. ед.

В четвертом случае, когда исходная $T(2)$ ВА (6) грамматика порождала язык, в котором наиболее вероятными были слова 100010 и 011111, восстановление структуры после 1500 шагов получилось неполное. Расхождение между исходными и полученными языками по мере Кульбака $S(p, q) - S(p, p) = 1,745 - 1,72 = 0,025$ дв. ед.

В результате экспериментов выявились специфические особенности решения задачи восстановления вероятностных грамматик по языку. Во втором случае качество восстановления было низким из-за высокого уровня шума — большой величины $S(p, p)$. Неполное восстановление структуры в четвертом эксперименте, видимо, объясняется недостаточной обусловленностью задачи, связанной с порождением близких языков существенно различными грамматиками. Эксперименты обнаружили существенную зависимость качества восстановления грамматик от энтропии порождаемого языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Knast R. Pinite—State Probabilistic Language. — Information and Control», 1970, v. 21, № 2. 148 p.
2. Цыпкин Я. З. Основы теории обучающихся систем. М., «Наука», 1970. 252 с.

Поступила 15 марта 1974 г.

УДК 62.506.2

Э. М. БУЗНИЦКАЯ, Н. К. СВИНАРЬ

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ЭКСПЛИКАЦИИ ПОНЯТИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

С появлением ЭВМ возникла проблема общения человека с машиной. Человеку удобнее выразить мысли в языковой форме и, следовательно, надо обучить машину непосредственно воспринимать и перерабатывать устную речь и тексты на естественных языках человека. Эта сложная проблема пока еще не решена. Чтобы добиться успеха, нужно понять в первую очередь закономерности языка и уметь описывать их на том уровне логической глубины и полноты, который может дать только математика.

Цель наших исследований в области теории естественного языка состоит в математическом описании лингвистической системы, носителем которой является человек. По-видимому, имеет смысл изучать принципы функционирования этой последовательной системы, выделяя более простые ее структуры, содержательно соответствующие разным уровням естественного языка. Исследовать язык означает исследовать соответствующие функции. Задача состоит в том, чтобы указать области их опре-

деления, построить их в явном виде и описать их свойства, согласованные с психофизическими реакциями человека.

Введем в рассмотрение некоторые понятия. Пусть имеется множество A . Составим из его элементов a_1, a_2, \dots, a_n упорядоченную n -ку $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$, в которой одни и те же элементы на различных местах могут встречаться многократно. Множество всевозможных упорядоченных n -ок назовем n -й степенью множества A и будем обозначать через A^n . Образует объединение всех таких множеств: $S = A^1 \cup A^2 \cup \dots \cup A^n$. Введенное множество состоит из всевозможных упорядоченных конечных последовательностей элементов множества A . Пусть A — морфологический алфавит русского языка; n -ю степень морфологического алфавита назовем множеством *морфологических выражений* длины n и обозначим через S . Примеры морфологических выражений:

(прдзот), (неская), (красно).

Множество S будем называть *словарем*. Рассмотрим характеристическую функцию f , выделяющую подмножество таких морфологических выражений, которые носитель языка будет рассматривать как допустимые в этом языке, хотя, быть может, совершенно ему непонятные и незнакомые. Примеры:

(глокая), (вет хали), (анокоп), (стол).

Говоря о существовании такой функции, мы имеем в виду существование ее только в том смысле, что имеется носитель этой функции — человек. Если предъявить испытуемому любое морфологическое выражение из словаря S , то он сумеет выработать вполне однозначный ответ. Этот ответ можно рассматривать как строго детерминированный сигнал из множества $\{0,1\}$. Таким образом, можно определить подмножество $S' \subset S$, элементы которого в дальнейшем будем называть *псевдословами*.

Введем понятие грамматической категории, задающее разбиение множества S' на два пересекающихся подмножества Γ_i и $\bar{\Gamma}_i = S' \setminus \Gamma_i$. Характеристическую функцию, конструктивно задающую грамматическую категорию γ_i на множество S' , можно записать в виде

$$\gamma_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{если элемент } x \text{ обладает категорией } \gamma_i; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

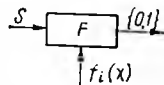
Последовательность из n грамматических категорий $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ дает разбиение множества S' на 2^n *элементарных классов* (некоторые из них могут быть пустыми). Тогда любому элементу $x \in S'$ можно поставить в соответствие хотя бы один элементарный класс Ψ_k ($k=1, 2, \dots, 2^n$). Любое подмножество Ψ_k может быть получено как пересечение подмножеств, соответствующих грамматическим категориям и их отрицаниям:

$$\Psi_k = \bigcap_{i \in M_k} \Gamma_i \cap \bigcap_{j \in \bar{M}_k} \bar{\Gamma}_j \quad (M_k \subseteq \{1, 2, \dots, 2^n\}, \bar{M}_k = \{1, 2, \dots, 2^n\} \setminus M_k).$$

Соответствующая характеристическая функция представима в виде

$$\psi_k(x) = \bigwedge_{i \in M_k} \gamma_i(x) \bigwedge \bigcap_{i \in \bar{M}_k} \neg \gamma_i(x).$$

Две грамматические категории γ_{i_1} и γ_{i_2} назовем *совместимыми*, если $\exists x (\gamma_{i_1}(x) \text{ and } \neg \gamma_{i_2}(x))$. Очевидно, что характеристическая функция любого непустого элементарного класса может быть представлена как конъюнкция характеристических функций совместимых грамматических категорий, которую в дальнейшем будем называть *логической формулой* элементарного класса.



Однако существуют такие элементы множества S' , которым можно поставить в соответствие несколько элементарных классов, объединение которых будем называть *дистрибутивным классом*. Каждому элементу $x_i \in S'$ будет соответствовать единственный дистрибутивный класс Φ_i , логическая формула которого запишется в виде $\phi_i(x) = \bigvee_k \psi_k(x)$.

Все дистрибутивные классы содержатся во множестве всевозможных объединений элементарных классов. Введенное понятие дистрибутивного класса отражает явление омонимии, свойственное в той или иной мере естественным языкам.

Теперь перейдем к вопросам, связанным с изучением системы лингвистических функций человека при решении задач морфологической классификации. Общая схема исследования способности человека решать поставленные выше задачи по методу «черного ящика» следующая (рисунок).

Вход S соответствует множеству морфологических выражений, предъявляемых испытуемому. Вход $f_i(x)$ соответствует частной лингвистической функции, конкретный вид которой определяется логической формулой (i — номер или код задания, даваемого испытуемому). Лингвистическую модель, соответствующую языковому поведению человека при решении задач морфологической классификации, можно представить как универсальную для этой системы функций. Выход $\{0,1\}$ соответствует результатам классификации всевозможных морфологических выражений в зависимости от $f_i(x)$.

Задача состоит в получении математического описания лингвистических функций, реализуемых человеком, в виде алгоритма, преобразующего входное множество S в выходное $\{0,1\}$ в зависимости от $f_i(x)$.

Исходной информацией для построения такого алгоритма служит список неформальных грамматических правил, регулирующих ответ испытуемого. Пусть элементарный класс описывается логической формулой $\psi_k(x)$. Необходимо найти все элементы этого класса из множества S' . Пусть $\Gamma_{\alpha_1}, \Gamma_{\alpha_2}, \dots, \Gamma_{\alpha_k}$

грамматические категории, входящие в данный элементарный класс. Тогда интересующее нас множество будет иметь вид

$$\psi_k = \bigcap_i \Gamma_{\alpha_i} \quad (i = 1, 2, \dots, k),$$

где $\Psi_k(x)$ — характеристическая функция множества Ψ_k , которую можно представить в виде

$$\psi_k(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in \Psi_k; \\ 0, & \text{если } x \notin \Psi_k. \end{cases}$$

Пусть $\gamma_i(x)$ ($i = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$) — характеристические функции множеств Γ_i с подобными значениями. Тогда $\psi_k(x) = \bigwedge_i \gamma_i$

Пусть функция $\gamma_i(x)$ задана системой правил $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im_i}$. Эти правила задают систему характеристических функций $\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im_i}$ на множестве S' . Эти функции определяют некоторые множества $V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{im_i}$. Если система правил полная, то $\gamma_i(x) = \beta_{i1}(x)$ and $\beta_{i2}(x)$ and ... and $\beta_{im_i}(x)$. Система правил может быть неполной, тогда $\Gamma_i \neq V_{i1} \cap V_{i2} \cap \dots \cap V_{im_i}$, но $\Gamma_i \subset V_{i1} \cap V_{i2} \cap \dots \cap V_{im_i}$. Формальным эквивалентом системы правил, записанных на естественном языке, может быть язык математической логики. Тогда система правил есть конъюнкция некоторого числа высказываний.

Последний этап решения задачи состоит в создании программы, реализующей алгоритм данной лингвистической функции на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркус С. Теоретико-множественные модели языка. М., «Наука», 1970. 332 с.
2. Клини С. Математическая логика. М., «Мир», 1973. 480 с.

Поступила 20 июля 1975 г.

УДК 62.506.2

М. М. ГОХЛЕРНЕР, Г. В. ЕЙГЕР, В. Л. ЮХТ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ПЕРЕВОДЧИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Одной из основных проблем моделирования искусственного интеллекта является проблема построения языка коммуникационных процессов внутри системы «думающей машины» и в рамках системы «человек—машина». Наличие общего языка — это

основа взаимопонимания между человеком и машиной. Разработка такого языка требует учета закономерностей естественных языков. Особенно большое значение имеет при этом учет закономерностей перекодирования, которые наиболее полно выражаются в деятельности переводчика.

Мыслительные процессы безотносительно к предметной области, являющейся их объектом, связаны с непрерывным перекодированием информации, ее группировкой, укрупнением в целях хранения, переработкой для Получателя (П). В естественном языке информация заложена в знаках, требующих «двойной интерпретации» [1], в планах содержания и выражения. Машинам такая двойная интерпретация недоступна. Они могут оперировать знаками с интерпретацией только в плане выражения. Так как на выходе человек должен интерпретировать в первую очередь содержательный план ее, то возникают проблемы, связанные с однозначностью соответствия знаков в этих двух планах.

С этой точки зрения представляет особый интерес психологический аспект перевода человеком текста с одного языка на другой, когда в принципе возникают затруднения с интерпретацией плана, содержания языковых знаков вследствие незнания предметной области переводимого текста, и только эвристические способности человека помогают ему решить эту проблему.

В данном сообщении делается попытка на основании теоретического анализа и экспериментальных исследований деятельности переводчика дать описание ситуаций, представляющих интерес для моделирования деятельности искусственного интеллекта в области переработки информации. При внутриязыковой коммуникации владение языковым кодом дает возможность воспринять сообщение, т. е. установить соответствие между высказыванием и описываемыми им фактами определенной предметной области. Неполное знание соответствующей области есть естественное состояние Получателя (П) информации при восприятии сообщения; целью последнего является раскрытие «нового», ранее неизвестного.

При межъязыковой коммуникации наличие переводчика расценивает единый процесс коммуникации на два коммуникативных акта: в первом переводчик является Получателем информации на исходном языке (ИЯ), во втором — Отправителем (О) информации на переводящем языке (ПЯ). Сущность процесса перевода заключается в перекодировании сообщения с ИЯ на ПЯ при сохранении инвариантной интерпретации плана содержания (т. е. сочетание денотативного значения со значением коннотативным и прагматическим).

Одним из основных требований, предъявляемых переводчику, является (наряду со знанием ИЯ и ПЯ) знание той реальной действительности (экстралингвистической ситуации), которая отражается в переводимом материале. В идеальном случае пе-

реводчик должен: а) знать ИЯ и ПЯ как О и П информации соответственно; б) знать данную специальную область на уровне О и П; в) знать способы перекодировки, позволяющие перейти от ИЯ к ПЯ. На практике, однако, эти требования вряд ли могут быть полностью реализованы, что объясняется рядом причин.

Переводчик имеет дело с двумя языками, из которых один является родным, другой — иностранным. Это накладывает на возможности переводчика определенные ограничения, связанные с направленностью процесса перевода (родной — иностранный или иностранный — родной) [2], типом переводимого текста (художественный или научно-технический), жанром и целевой установкой научно-технического текста [3].

Переводчик, даже работающий в одной области, не обладает той полнотой знаний о действительности, которой обладают О и П информации. В отличие от последних, отношение которых к описываемому в тексте фрагменту предметной области носит активный характер, позволяя творчески использовать полученные данные, переводчик обладает пассивным знанием лишь в том объеме, который обеспечивает переход от ИЯ к ПЯ.

В связи с характерным для современного состояния наук и техники тесным взаимодействием и переплетением различных нередко весьма отдаленных отраслей знания переводчик вынужден постоянно расширять сферу своих пассивных знаний в таком диапазоне, творческое овладение которым не под силу ни одному специалисту.

Правила перекодировки не даны переводчику в окончательном сформулированном виде во всем объеме; они непрерывно уточняются и пополняются в ходе развития науки и техники (особенно в сфере терминологии) и в процессе изменения прагматической ориентации носителей ПЯ.

Поэтому, как правило, деятельность переводчика протекает в условиях неполного знания соответствующей предметной области. Переводческая практика свидетельствует, однако, о том, что при определенном уровне знаний и опыта переводчик и в этих условиях может давать адекватный перевод [4].

Объясняется это существованием особой области знаний, активное владение которыми обеспечивает успешную деятельность переводчика. К этой области следует отнести знание ИЯ и ПЯ а также знание совокупности средств перекодировки. Благодаря переводчик находит функциональные эквиваленты для адекватного описания средствами ПЯ ситуаций, описанных средствами ИЯ. Сюда входит также умение находить новые средства для описания тех элементов ситуаций, которые не имеют еще в ПЯ функциональных эквивалентов.

В оптимальном использовании этой сферы знаний, которая не компенсируется активным знанием данной предметной обл

ств, проявляется творческий характер деятельности переводчика.

Показательно, что если в качестве переводчика выступает специалист в определенной области, то его деятельность как переводчика идет по тому же пути универсализации (т. е. приобретения дополнительных пассивных знаний в других областях), который характерен для переводчика-неспециалиста. Так что и в этом случае перевод осуществляется в условиях неполного знания действительности.

В силу ряда культурно-исторических условий неполное знание определенной сферы действительности может быть характерным для всех носителей ПЯ. В таких случаях невозможность или крайняя затрудненность «прагматической адаптации текста» [5] заставляет иногда отказываться от перевода отдельных частей текста [6].

Существующие модели речевой деятельности переводчика концентрируют внимание на процессе перекодирования сообщения. Поскольку при переводе научно-технического текста денотативная функция является ведущей, речевая деятельность переводчика наиболее адекватно моделируется ситуативной моделью языкового синтеза [7]. Вместе с тем для уяснения процесса перевода в условиях неполного знания действительности не меньшее значение имеет и предшествующий собственно переводу процесс анализа исходного сообщения. В этом отношении представляет несомненный интерес попытка промоделировать поведение переводчика, который, не понимая существа текста, обладает способностью анализировать его на языковом уровне с учетом широкого контакта [8].

О первостепенной роли анализа свидетельствует тот парадоксальный факт, что при определенных условиях перевод с родного языка на иностранный осуществляется с большей степенью надежности, чем в обратном направлении, так как анализ исходного высказывания на родном языке реализуется легче и с большей полнотой.

Исходя из указанных предпосылок, исследовался процесс порождения научно-технического текста при переводе как в обычных условиях, так и в условиях дефицита времени. При этом применялся метод прямого наблюдения с последующим устным и (или) письменным самоотчетом испытуемого, задания «рассуждайте вслух в процессе перевода» (с записью на скрытом магнитофоне), анкетирование переводчиков и редакторов, анализ черновиков и редакторской правки, изучение процесса обучения переводу. Исследования подтвердили высказанные ранее гипотезы и позволили уточнить некоторые частные вопросы.

Предварительное знакомство с текстом создает у переводчика общее представление об отрезке действительности, соответствующем тексту. В процессе перевода эта модель нередко подвергается корректировке. При этом многие переводчики ориентиру-

ются на графические средства, иллюстрирующие вербальный текст.

Неполное знание предметной области может приводить к неправильному членению предложения и сложносоставных слов, к ошибкам в коммуникативном членении, нарушению связности текста. Недостаточная уверенность переводчика в правильности интерпретации слова, фразы или некоторой совокупности фраз на ИЯ приводит к выбору наиболее общих значений, отказу от упрощающих и уменьшающих избыточность трансформаций.

Очевидно, что для успешного автоматического перевода необходимо моделирование конкретной предметной области. Для начала такой работы имеются уже предпосылки; на первых этапах можно использовать в качестве языка моделирования информационно-поисковые языки; они, в отличие от естественных языков, эксплицитно и прямо, при помощи специальных индексов отражают предметную область, что выражается в объективации скрытых лексико-семантических классов естественных языков, например, выделение родо-видовых и иных ассоциативных объединений смыслов.

Использование тезаурусов (которые в процессе совершенствования искусственного интеллекта будут становиться все богаче и сложнее) позволит превзойти человека в «знании» предметной области, поскольку у последнего эти знания будут носить мозаичный характер по сравнению со «знаниями» машины. Семантическом плане процесс перевода представляет собой перекombинацию смыслов исходного сообщения. В психологическом аспекте этот процесс является процессом решения проблемы на основе решения подзадач в условиях, требующих частой смены одной задачи, другой. Переводя текст, человек осуществляет «подготовку» элементарных смыслов, подбирая лексические и грамматические единицы и приводя их во взаимное соответствие.

Рассматриваемый процесс происходит, таким образом, в условиях конфликтной ситуации. Его формализация в целях моделирования искусственного интеллекта возможна на основе частичного использования аппарата теории игр.

Осуществляя перевод, человек опирается на интуитивное знание правил сочетаемости языковых единиц разного уровня. При создании искусственного интеллекта следует учитывать помехи типа «обезьяньей лапы» (Н. Винер); при разработке алгоритмов синтеза могут оказываться неучтенными особенности восприятия речи человеком, связанные с такими факторами, как стилистическая сложность, монотонность изложения, ограниченность оперативной памяти, соотношение избыточности и экономии языковых средств. Особое место поэтому должна занять теория перефразирования [8], модифицирующая процесс понимания текста человеком на основе самых общих соображений. Однако она должна развиваться и на основе конкретных психо-

лингвистических исследований трансформаций, совершаемых человеком при переводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягинцев В. А. Семиологические универсалии. — В кн.: Язык и человек. М., 1970, с. 102—112.
2. Vamberger F. H. Translating in the US Patent Office. — The Modern Language Journal», 1962, vol. 46, No. 1, p. 33—36.
3. Швейцер А. Д. К проблеме лингвистического изучения процесса перевода. — «Вопросы языковедения», 1970, № 4, с. 27—34.
4. Яглом И. М. От редактора русского издания. — В кн.: Дж. Кемени, Дж. Снелл, Дж. Томсон. Введение в конечную математику. М., 1968, с. 9—16.
5. Гак В. Г. О моделях языкового синтеза. — «Иностранные языки в школе», 1969, № 4, с. 15—22.
6. Гюльмисарян С. А., Дрезин Ф. А., Тер-Мисакянц З. Т. Математические формулы в широком контексте. — «Научно-техническая информация», сер. 2, 1971, № 3, с. 33—38.
7. Levy J. Translation as a Decision Process. — «To Honor Roman Jakobson». 1967, v. 11, p. 1171—1184.
8. Мельчук И. А. Опыт теории лингвистических моделей «смысл—текст». М., «Наука», 1974. 90 с.

Поступила 20 мая 1974 г.

УДК 62.506.2

В. П. ЛЕОНОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ МЕХАНИЗМОВ В ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЯЧЕЙКЕ. СООБЩЕНИЕ 3. ТОРМОЖЕНИЕ

В нервных системах живых организмов широко распространены тормозные эффекты, которые наряду с возбуждением выполняют важные логические функции в общем процессе преобразования информации. Пресинаптическое торможение выражается в блокаде или подавлении пресинаптических возбуждающих импульсов и обусловлено активацией пресинаптических тормозных бляшек [1]. Этот вид торможения распространен во всей центральной нервной системе млекопитающих и имеет большую эффективность в сравнении с постсинаптическим, которое выражается в кратковременной гиперполяризации мембраны мотонейрона под действием импульсов, поступающих через тормозные синапсы.

Сравнительно большая длительность постсинаптического торможения создает возможность для пространственной и временной суммации тормозных эффектов [2]. При слишком быстром приходе последовательных импульсов к миелиевальному синапсу наблюдается сильное угнетение синаптической передачи. Этот вид торможения называют торможением Введенского.

Для моделирования тормозных эффектов в электронных моделях нейронов используются отдельные блоки торможения [3,

4], что существенно усложняет модели. Как отмечалось ранее [5, 6], в электрохемилюминесцентной (ЭХЛ) ячейке вместе с другими нейронными механизмами можно воспроизводить и торможение. Преимущества такого воспроизведения заключаются в возможности использования свойств молекул, участвующих в ЭХЛ процессе, или особенностей кинетики данного явления для воспроизведения нейронных механизмов без усложне-

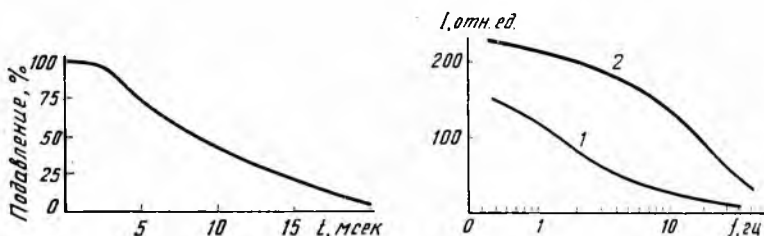


Рис. 1. Зависимость подавления вспышки ЭХЛ тормозящим импульсом от интервала времени между тормозящим и возбуждающим импульсами.

Рис. 2. Зависимость интенсивности вспышек ЭХЛ от частоты следования возбуждающих импульсов при их длительности 50 (1) и 10 мсек (2).

ния модели новыми элементами. Тормозные эффекты, сходные с описанными выше, были обнаружены в ЭХЛ композиции с активным электролитом тетрафенилборнатрием (ТФБН) и активаторм 1,5-дифенил-3-стирилпиразолином (ДФСП). В данной работе рассматривается возможность воспроизведения тормозных эффектов в ЭХЛ ячейке.

В экспериментах использовался раствор ДФСР 0,1 и ТФБН 0,2 моль/л в диметилформамиде. Раствор заливался в ячейку с платиновыми электродами. Рабочий электрод в виде проволоки диаметром 0,8 мм располагался внутри цилиндрического дополнительного электрода с разрезом для выхода света. Регистрировалась ЭХЛ фотоэлектронным умножителем, соединенным со входом запоминающего осциллографа.

Свечение в данной ЭХЛ композиции можно возбуждать однопольными положительными импульсами. Однако если перед положительным импульсом на рабочий электрод поступит отрицательный, то наблюдается подавление вспышки ЭХЛ. На рис. 1 приведена зависимость подавления вспышки ЭХЛ тормозящим отрицательным импульсом длительностью 30 мсек и амплитудой 3,5 в. Возбуждающие положительные импульсы имели длительность 10 мсек и амплитуду 2,5 в. При уменьшении амплитуды и длительности отрицательных импульсов их тормозящее действие снижалось. Как видно из рис. 1, тормозящее действие отрицательного импульса сохраняется до 20 мсек. Это создает возможность для временного суммирования тормозящих импульсов. Если в ЭХЛ ячейку будет введено несколько электродов, на

которые относительно рабочего электрода будут поступать положительные импульсы, то будет происходить также пространственное суммирование тормозных сигналов. Данный вид торможения в ЭХЛ ячейке имеет сходство с пресинаптическим и постсинаптическим торможением.

Другой вид торможения наблюдается в ЭХЛ ячейке в виде зависимости интенсивности вспышек ЭХЛ от частоты и длительности возбуждающих импульсов. Этот вид торможения аналогичен торможению Введенского. На рис. 2 приведены зависимости интенсивности вспышек ЭХЛ от частоты следования возбуждающих импульсов при их длительности 50 и 10 мсек. Как видно из рис. 2, увеличение длительности и частоты следования возбуждающих импульсов снижает уровень оптического сигнала — вспышки ЭХЛ, т. е. наблюдается торможение.

Рассмотрим причину появления тормозных эффектов в ЭХЛ ячейке с данной композицией. Как известно [7], интенсивность вспышки ЭХЛ для ион-рекомбинационного механизма описывается выражением

$$I = \Phi_{\text{эхл}} A (D\tau_a)^2 K C^+ C^-,$$

где $\Phi_{\text{эхл}}$ — квантовый выход ЭХЛ; A — площадь электрода; D — коэффициент диффузии; τ_a — аннигиляционное время жизни ион-радикалов; K — константа аннигиляции; C^+ и C^- — концентрации ион-радикалов.

Как видно из выражения (*), интенсивность вспышки ЭХЛ прямо пропорциональна концентрации C^+ и C^- . В данном примере это концентрации катион-радикалов ДФСР и анион-радикалов ТФБН.

Ранее было показано [5], что в ЭХЛ композициях с активным электролитом ТФБН образуются люминесцирующие комплексы из катион-радикалов активатора R^+ и анионов электролита \mathcal{E}^- у поверхности положительного электрода в следующей последовательности реакций: $R - e \rightarrow R^+$, $R^+ + \mathcal{E}^- \rightarrow (R\mathcal{E})^+$, $(R\mathcal{E})^+ \rightarrow h\nu + R + \mathcal{E}$. Если на рабочий электролит подать отрицательный потенциал, не превышающий потенциала восстановления ДФСР, то его приэлектродная концентрация не изменится, поскольку молекулы ДФСР электронейтральны. Анионы ТФБН будут мигрировать от электрода под действием кулоновского отталкивания от электрода. Приэлектродная концентрация анионов ТФБН упадет до нуля ($C^- = 0$) и положительный импульс с амплитудой, достаточной для окисления ДФСР, в начальный момент не будет сопровождаться вспышкой ЭХЛ. При наличии интервала времени между тормозящим и возбуждающим импульсом приэлектродная концентрация C^- будет восстанавливаться диффузией и, как видно из рис. 1, через 20 мсек она восстанавливается полностью.

Торможение, показанное на рис. 2, также обусловлено миграцией анионов ТФБН у электрода. Но в данном случае торможение вызвано снижением приэлектродной концентрации не ТФБН, а ДФСР. Возбуждающий положительный импульс вызывает миграцию анионов ТФБН в рабочий электрод и вытеснение молекул ДФСР из приэлектродного слоя.

Если частота и длительность возбуждающих импульсов невелика ($f < 10$ гц, $T = 10$ мсек), то в интервалах между импульсами диффузионные процессы успевают восполнить приэлектродное пространство молекулами ДФСР и уменьшить приэлектродную концентрацию анионов ТФБН до исходного значения. При возрастании длительности и частоты следования возбуждающих импульсов исходные значения концентраций ДФСР и анионов ТФБН не успевают восстанавливаться в интервалах между импульсами и наступает торможение — снижение интенсивности вспышек ЭХЛ.

В рассматриваемой ЭХЛ композиции наблюдается еще один специфический эффект, который может использоваться для моделирования торможения. Он заключается в смещении спектра излучения ЭХЛ при изменении параметров возбуждающего напряжения. В растворе с концентрацией ДФСР и ТФБН по 0,2 моль/л возбуждение ЭХЛ проводится чередующимися положительными ($V^+ = 1,5 - 5$ в, $t^+ = 0,5$ сек) и отрицательными ($V^- = 3,5$ в, $t^- = 0,15$ сек) прямоугольными импульсами.

При амплитуде положительного импульса 2,2 в максимум спектра ЭХЛ расположен на 518 нм. Увеличение амплитуды положительного импульса до 4 и 5 в сопровождается смещением максимума спектра ЭХЛ на 564 и 590 нм соответственно. Если сигнал от ЭХЛ ячейки регистрируется избирательным фотоприемником, чувствительным в зеленой области спектра, то при увеличении амплитуды возбуждающих положительных импульсов спектр излучения ЭХЛ будет уходить из области чувствительности фотоприемника. В результате сигнал на выходе фотоприемника будет падать, что эквивалентно торможению. Природа данного смещения спектров ЭХЛ представляет собой самостоятельную задачу и может быть рассмотрена в отдельной работе.

Таким образом, в ЭХЛ композиции с активным электродом ТФБН и активатором ДФСР имеется несколько видов торможения. Наблюдается подавление вспышек ЭХЛ отрицательными импульсами, снижение интенсивности ЭХЛ при увеличении длительности и частоты следования возбуждающих импульсов, смещение спектра ЭХЛ при изменении амплитуды возбуждающих импульсов. Учитывая, что в ЭХЛ ячейке воспроизводятся и другие свойства нейрона, следует полагать, что на основе ЭХЛ ячейки можно построить модель нейрона с довольно полным воспроизведением свойств ее биологического прототипа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экклс Д. ж. Физиология синапсов. М., «Мир», 1966. 396 с.
2. Экклс Д. ж. Физиология нервных клеток. М., Изд-во иностр. лит., 1959. 298 с.
3. Снежко Е. М. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Днепропетровск, 1972. 20 с.
4. Позин Н. В. Моделирование нейронных структур. М., «Наука», 1970. 260 с.
5. Леонов В. П. Моделирование нейронных механизмов в электрохемилюминесцентной ячейке. *Сообщение 1. Механизмы электрохемилюминесценции.* — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 16. Харьков, 1976, с. 136—140.
6. Леонов В. П. Моделирование нейронных механизмов в электрохемилюминесцентной ячейке. *Сообщение 2. Адаптация.* — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 16, Харьков, 1976, с. 136—140.
7. Measures R. M. Prospects for Developing a Laser Based on Electrochemiluminescence. — «Applied Optics», 1974, v. 13, p. 1121—1133.

Поступила 15 июля 1975 г.

УДК 62.50:007.57

В. Г. ПОПОВ, В. А. ТРУСОВ, канд. техн. наук

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Внедрение в процесс обучения цифровых вычислительных машин (ЦВМ) и построение на их основе обучающих систем позволяет повысить качество подготовки специалистов, сократить время обучения и увеличить производительность и эффективность педагогического труда.

В настоящее время под обучающей системой принято понимать систему, включающую в свой состав технические средства, которые состоят из устройств связи обучаемых в ЦВМ и самой ЦВМ специальное математическое обеспечение, а также методические материалы и учебные пособия, используемые в этой системе.

Следует отметить, что обучающая система обеспечивает высокую степень индивидуализации, адаптивность и повышение качества процесса обучения лишь при тщательной разработке всех ее компонентов. В ходе разработки обучающих систем необходимо провести анализ адаптивного процесса обучения, позволяющий выделить и детализировать те процедуры, которые могут быть автоматизированы, и, кроме того, определяющий их содержание и структуру.

Наряду с решением перечисленных задач целесообразно проводить также анализ свойств системы. Этот анализ чаще всего предполагает оценку основных показателей качества разрабатываемой и существующей систем с целью предъявить обоснованные требования к элементам и параметрам.

В работе излагаются вопросы оценки эффективности автоматизированных обучающих систем (АОС) применительно к задачам обучения практического характера.

В АОС на машину возлагаются функции моделирования отдельных сторон умственной деятельности преподавателя и обучаемых, в основном связанных с анализом ошибок обучаемых и принятием решений, определяющих дальнейший ход процесса обучения. Степень приспособленности (адаптации) системы к решению конкретных задач обучения характеризует гибкость программного обеспечения, т. е. возможность реализации моделируемых процессов в условиях влияния достаточно большого количества факторов. Поэтому в общем случае автоматизированное обучение может быть описано вероятностной моделью.

Вероятностное представление процесса обучения обусловлено не только различием между способностями обучаемых и степенью их подготовки к данной работе, но и рядом других причин, имеющих случайный характер. Обучаемый может находиться в различных состояниях, изменение которых происходит в произвольные моменты времени.

Процесс обучения представляет собой изменение состояния обучаемого, т. е. перемещение его из начального состояния в состояние, которое характеризуется определенной степенью усвоения нового учебного материала, приобретением новых умений или навыков. Переход обучаемого из одного состояния в другое носит случайный характер и происходит с некоторой вероятностью, зависящей не только от состояния обучаемого, но и от момента перехода. Число этих состояний в общем случае может быть произвольным.

Процесс обучения человека определенному предмету обычно носит этапный характер. Пусть, например, имеется множество обучаемых $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, которые должны изучить определенный учебный материал. Материал каждого этапа разбивается на множество доз $D = \{d_1, d_2, \dots, d_r\}$, причем каждая доза отличается уровнем изложения одной и той же части учебного материала, поэтому $\eta \leq k$.

Заданным множествам A и D поставлено в соответствие множество вариантов $G = \{g_1, g_2, \dots, g_r\}$ начального распределения доз на данном этапе. Однако среди этого множества распределений имеется только одно, соответствующее минимальному времени обучения, т. е. такое g_j обеспечивает адаптивность процесса обучения.

Управление процессом обучения состоит в выборе оптимального распределения доз, чем достигаются минимальные затраты времени на выполнение всех этапов работы. Таким образом в качестве одного из основных показателей эффективности обучающей системы целесообразно рассматривать время, затрачиваемое на обучение. Этот критерий наиболее соответствует по

казателям качества системы, предназначенной для обучения практическим навыкам и умениям.

Вследствие вероятностного характера рассматриваемого процесса необходимо произвести оценку среднего времени выполнения работы одним обучаемым. Так как управление системой не может быть полностью автоматизировано, то при разработке соответствующей математической модели процесса обучения следует учесть, что преподаватель остается одним из основных звеньев, принимающих в ряде случаев управляющие решения.

Математическая модель процесса обучения рассматривается применительно к АОС, предназначенной для практического обучения определенным навыкам и умениям на примере двухэтапного выполнения работы при следующих допущениях:

система на каждом этапе обучения может выявлять и оказывать помощь при ошибках обучаемых, сгруппированных в два класса;

возможны две стратегии взаимодействия при обучении: а) стратегия 1: обучаемый — ЦВМ — обучаемый; б) стратегия 2: обучаемый — ЦВМ — обучаемый — преподаватель. Когда ЦВМ не распознает класс ошибок, то стратегия 1 реализуется в случае, если обучаемый самостоятельно выявляет и анализирует допущенную им ошибку, а стратегия 2 — при обращении обучаемого за помощью к преподавателю;

время реакции ЦВМ на запрос на обслуживание мало; технические средства АОС абсолютно надежны.

При этих допущениях возможны следующие шесть состояний обучаемого на каждом этапе:

- 1.1 (2.1) — формирование и ввод ответа в ЦВМ;
- 1.2 (2.2) — обучение при обнаружении ЦВМ ошибки одного класса;
- 1.3 (2.3) — формирование и ввод ответа в ЦВМ после обучения при допущенной ошибке одного класса;
- 1.4 (2.4) — обучение при обнаружении ЦВМ ошибки второго класса;
- 1.5 (2.5) — формирование и ввод ответа в ЦВМ после обучения при допущенной ошибке второго класса;
- 1.6 (2.6) — самостоятельный поиск ошибки, не распознаваемой ЦВМ, при стратегии 1 или же оказание помощи преподавателем при стратегии 2.

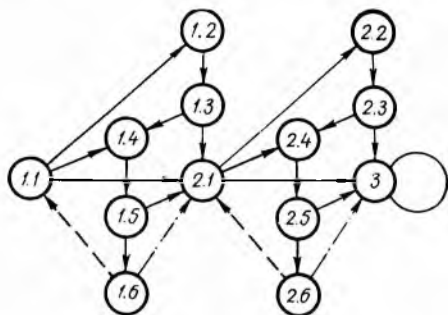


Рис. 1. Граф переходов модели процесса обучения: — — — стратегия 1; — — — — стратегия 2.

В скобках указаны аналогичные состояния на 2-м этапе обучения.

Граф переходов для описанной модели приведен на рис. 1. Состояние 3 соответствует окончанию работы, т. е. выполнению обоих этапов. Таким образом, для двухэтапной работы с двумя классами ошибок на каждом этапе процесс обучения может находиться в одном из 13 состояний.

При сделанных предположениях относительно характера обучения функционирование модели описывается марковским процессом, т. е. переход из состояния в состояние не зависит от предыстории процесса.

Матрица P переходных вероятностей цепи Маркова для модели при стратегии 1 имеет вид

$$P = \| p_{i,j} \| = \begin{pmatrix} p_{1,2} = q_{1,1} & p_{1,4} = q_{1,2} & p_{1,7} = Q_{1,1} \\ p_{2,3} = 1 \\ p_{3,4} = q_{1,2} & p_{3,7} = Q_{1,2} \\ p_{4,5} = 1 \\ p_{5,6} = q_{1,3} & p_{5,7} = Q_{1,3} \\ p_{6,1} = 1 \\ p_{7,8} = q_{2,1} & p_{7,10} = q_{2,2} & p_{7,13} = Q_{2,1} \\ p_{8,9} = 1 \\ p_{9,10} = q_{2,2} & p_{9,13} = Q_{2,2} \\ p_{10,11} = 1 \\ p_{11,12} = q_{2,3} & p_{11,13} = Q_{2,3} \\ p_{12,7} = 1 \\ p_{13,13} = 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Матрица P для модели при стратегии 2 отличается от матрицы (1) только тем, что ее элементы $p_{6,1} = p_{12,7} = 0$, а $p_{6,7} = p_{12,13} = 1$.

Элементы матрицы P определяются через величины $q_{n,j}$ и $Q_{n,j}$, вычисляемые следующим образом.

Вероятности $Q_{n,j}$ находятся по формуле вероятности усвоения линейной модели обучения [1, с. 152]:

$$Q_{n,j+1} = Q_{n,j} + (1 - \alpha)(1 - Q_{n,j}); \quad n = 1, 2; \quad j = 1, 2, \quad (2)$$

где α — параметр обучения, характеризующий степень адаптации системы к обучаемому.

Вероятность $Q_{2,1}$ определяется по формуле, аналогичной (2), т. е.

$$Q_{2,1} = Q_{1,1} + (1 - \beta)(1 - Q_{1,1}), \quad (3)$$

где β — параметр, характеризующий степень логической связи между этапами обучения.

Под вероятностью $Q_{1,1}$ в (3) понимается уровень подготовки обучаемого P_0 к выполнению данной работы, который можно определить по статистическим данным процесса обучения.

Выражения для определения $q_{n,j}$ имеют вид $q_{n,j} = 1 - Q_{n,j}$; $n=1,2$; $j=2,3$; $q_{n,1} = Q_{n,2} - Q_{n,1}$; $n=1,2$. Критерием качества системы является среднее время T_{cp} , затрачиваемое на обучение. Это время определяется с помощью фундаментальной матрицы поглощающей марковской цепи [2] по формуле

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^m t_i n_{1,i} = \left(\sum_{i=1}^m A_{i,1} t_i \right) / \Delta, \quad (4)$$

где $n_{1,i}$ — элементы 1-й строки фундаментальной матрицы $N = (I - P_{(m+1)})^{-1}$; Δ — определитель матрицы $P_{(m+1)}$; $A_{i,1}$ — алгебраическое дополнение 1-го столбца элементов определителя Δ ; $P_{(m+1)}$ — матрица переходов P с вычеркнутыми строкой и столбцом с номерами $(m+1)$; t_i — время пребывания процесса в i -м состоянии; I — единичная матрица m -го порядка; $m+1$ — число состояний марковской поглощающей цепи.

Для рассматриваемой модели число $m=12$.

Кроме величины T_{cp} рассматривается и другой показатель эффективности обучающей системы — среднее время T_n , затрачиваемое преподавателем на консультирование одного обучаемого. Это время определяется так:

$$T_n = \sum_{i=1}^2 t_{6i} n_{1,6i} = \left(\sum_{i=1}^2 A_{6i,1} t_{6i} \right) / \Delta. \quad (5)$$

В этом выражении все члены правой части имеют тот же смысл, что и в (4).

Пример. Оценивается двухэтапная система обучения при вариации исходных параметров в следующих пределах:

по степени адаптации системы $\alpha = 0,1 - 1,0$;

по степени логической связи между этапами обучения $\beta = 0,4 - 1,0$;

по уровню подготовки обучаемого к выполнению работы $P_0 = 0,4 - 1,0$.

Значения времен пребывания в описанных выше состояниях выбраны следующими:

время пребывания в состоянии обдумывания и ввода ответа в ЦВМ — 2 мин;

время обучения — 3 мин;

время поиска ошибки при стратегии 1 (оказание помощи преподавателем при стратегии 2) — 5 мин.

На рис. 2 приведены зависимости среднего времени T_{cp} выполнения работы от начального уровня подготовки обучаемого P_0 для фиксированных значений α и β при двух стратегиях взаи-

модействия, а на рис. 3 — зависимости среднего времени T_n , затрачиваемого преподавателем на оказание помощи одному обучаемому, от уровня его подготовки P_0 , полученные при расчете на универсальной ЦВМ согласно выражениям (4) и (5).

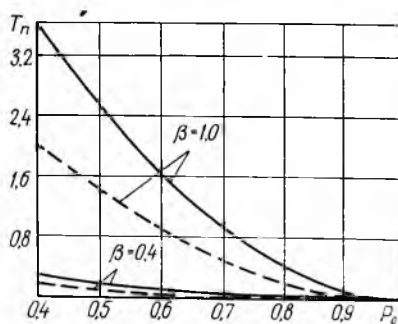
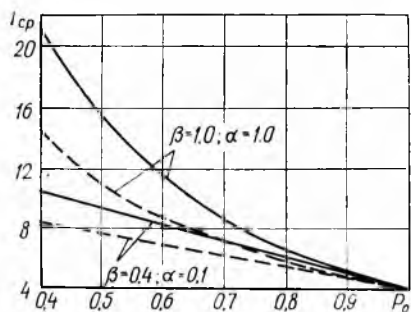


Рис. 2. Зависимость среднего времени обучения от уровня подготовки обучаемого, мин; — — стратегия 1; - - - - стратегия 2.

Рис. 3. Зависимость среднего времени занятости преподавателя от уровня подготовки обучаемого мин: — — $\beta=1,0$; - - - - $\beta=0,4$.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

1. Величина среднего времени обучения $T_{ср}$ изменяется в широком диапазоне значений, что должно учитываться в учебном процессе при составлении планов работ и регламентировании использования обучающей системы.

2. Значительное влияние на изменение величины $T_{ср}$ оказывает уровень подготовки обучаемого. Этот факт должен учитываться при организации консультаций «слабым» обучаемым как в процессе подготовки к выполнению работ в АОС, так и в ходе обучения.

3. Существенную роль в уменьшении величины $T_{ср}$ играет степень адаптации системы к обучаемому. Этот параметр обучающей системы в сущности означает насколько достигнуто взаимопонимание между ЦВМ и обучаемым [3], т. е. возможность системы по обеспечению процесса обучения.

4. Уменьшение величины $T_{ср}$ может быть достигнуто за счет разделения учебного материала на такие этапы его изучения, для которых имеет место определенная степень логической связи. Такое разделение учебного материала позволяет обучаемому затрачивать меньше времени на «привыкание» в работе с обучающей системой.

5. Рассмотренные способы уменьшения величины $T_{ср}$ в обучающей системе с высокой степенью адаптации позволяют сократить сроки обучения. Кроме того, в таких системах значительно уменьшается непроизводительный педагогический труд.

Предложенный подход к анализу процесса обучения в автоматизированных системах обучения позволяет количественно оценить эффективность этих систем, а разработка определенного класса подобных моделей дает возможность произвести оценку свойств системы в целом при их проектировании и предъявить вполне обоснованные требования к ее компонентам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения. М., «Мир», 1969. 486 с.
2. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. М., «Наука», 1970. 272 с.
3. Человек и вычислительная техника. Киев, «Наукова думка», 1971. 294 с. Авт.: В. М. Глушко, В. И. Брановицкий, А. М. Довгялло, З. Л. Рабинзонич.

Поступила 20 июля 1974 г.

УДК 535.37:577.3.62.560.2

Ю. К. ХУДЕНСКИЙ, Н. Н. РОЖИЦКИЙ, А. И. БЫХ, канд. техн. наук

ЭЛЕКТРОХЕМИИЗЛУЧЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ЕГО РОЛЬ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ. СООБЩЕНИЕ 2. ВОЗМОЖНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОХЕМИИЗЛУЧЕНИЯ

Исследование процессов электрохемиизлучения (ЭХИ) ряда электрофлорных композиций, включающих люминесцирующее органическое соединение — активатор, показало, что при некоторых концентрациях последнего в композиции возможно мицеллообразование молекул и ионов активатора и, по-видимому, ионов поддерживающего электролита. Находящиеся в растворе подобные мицеллярные ассоциаты приводят к ускорению реакций, продуктами которых являются возбужденные молекулы активатора и, как следствие, кванты ЭХИ, что объясняется, очевидно, проявлением кооперативных взаимодействий внутри ионогенных мицелл. Наличие двух информативных каналов — (электро)химического и оптического, состав среды — сложный электролит, образование мицеллярных ассоциатов, близких по ряду своих свойств к молекулам ферментов (прежде всего, катализация некоторых реакций и кооперативные взаимодействия в комплексе), — все это дает основание считать целесообразным применение ЭХИ для моделирования некоторых процессов, происходящих в сложных биологических системах на разных уровнях иерархии, например, в нейронах и нейрональных сетях. Последнее утверждение можно попытаться понять, рассмотрев (в очень общих чертах) некоторые современные воззрения на информативные процессы, протекающие в головном мозге.

Согласно представлениям, развиваемым в работах [1, 2], «...нейрональный мозговой комплекс является уникальным электробиохимическим состоянием вещества, которое следовало бы именовать нейрокогерентным».

Как известно, в головном мозге могут протекать сознательные и бессознательные мыслительные процессы. По данной модели сознательные есть процессы классической природы, осуществляемые системой нейронов типа с, организованных в опре-

деленные структуры-сети, взаимодействие внутри которых (например, в акте передачи информации) проявляется при реакции с переносом заряда и происходит достаточно медленно. Бессознательные — это процессы квантово-волновой природы, происходящие в сетях особых q и q^+ нейронов (q^+ — эрмитово-сопряженные нейроны), связанных силами кооперативных взаимодействий, а процессы передачи информации происходят с помощью некоторых волн-сигналов, s и q сети образуют пространственно-временные периодические решетки, взаимодействие между которыми осуществляют голонейроны, в результате чего бессознательное в конечном счете проявляется как осознаваемое. Бессознательные информационные психические процессы есть реальные физические явления, с которыми сопоставляются взаимодействующие квантово-волновые функции.

Это объясняет неосознаваемость данных процессов, поскольку происходящие при этом события описываются набором непосредственно не регистрируемых волновых функций состояний системы, а не вероятностями осуществления данного состояния (скажем, распознавания образа), т. е. квадратами модуля амплитуд функций. Квантово-волновые дискретные и классические непрерывные процессы воспринимают, опознают, кодируют, передают, запоминают тождественную информацию внешнего мира либо внутреннего состояния организма.

В процессе эволюции формировались и отбирались наиболее эффективные по информационным способностям нейронные самоорганизующие сети, образующие кооперативные пространственные периодические решетки. Для оптимального функционирования мозга, согласно [1, 2], необходимо наличие пространственно-периодических когерентных волн, поскольку именно когерентность приводит к наиболее эффективным информационным процессам, при которых данные волны взаимодействуют с q - и s -нейронными сетями. Как следствие, при работе мозга целый ряд мозговых структур действуют когерентно в пространстве и времени, а механизмы возбуждения структур идентичны голографической записи и реконструкции образов в q - и s -нейронных решетках. Когерентность существенна для работы мозга в целом, т. е. при информационных процессах в q , q^+ и s структурах и при их взаимодействии.

Процесс реконструкции (узнавания) образа связан с использованием когерентной опорной волны, возникающей, по-видимому, в активном левом полушарии мозга. С помощью этой волны восстанавливается голограмма копии волны, которая несет в себе полную информацию об объекте, записанная в кооперативно-взаимодействующих периодических пространственных нейронных структурах правого полушария. Последнее, таким образом, выполняет роль голографической «библиотеки» образов, зафиксированных ранее.

деленные структуры-сети, взаимодействие внутри которых (например, в акте передачи информации) проявляется при реакции с переносом заряда и происходит достаточно медленно. Бессознательные — это процессы квантово-волновой природы, происходящие в сетях особых q и q^+ нейронов (q^+ — эрмитово-сопряженные нейроны), связанных силами кооперативных взаимодействий, а процессы передачи информации происходят с помощью некоторых волн-сигналов, s и q сети образуют пространственно-временные периодические решетки, взаимодействие между которыми осуществляют голонейроны, в результате чего бессознательное в конечном счете проявляется как осознаваемое. Бессознательные информационные психические процессы есть реальные физические явления, с которыми сопоставляются взаимодействующие квантово-волновые функции.

Это объясняет неосознаваемость данных процессов, поскольку происходящие при этом события описываются набором непосредственно не регистрируемых волновых функций состояний системы, а не вероятностями осуществления данного состояния (скажем, распознавания образа), т. е. квадратами модуля амплитуд функций. Квантово-волновые дискретные и классические непрерывные процессы воспринимают, опознают, кодируют, передают, запоминают тождественную информацию внешнего мира либо внутреннего состояния организма.

В процессе эволюции формировались и отбирались наиболее эффективные по информационным способностям нейронные самоорганизующие сети, образующие кооперативные пространственные периодические решетки. Для оптимального функционирования мозга, согласно [1, 2], необходимо наличие пространственно-периодических когерентных волн, поскольку именно когерентность приводит к наиболее эффективным информационным процессам, при которых данные волны взаимодействуют с q - и s -нейронными сетями. Как следствие, при работе мозга целый ряд мозговых структур действуют когерентно в пространстве и времени, а механизмы возбуждения структур идентичны голографической записи и реконструкции образов в q - и s -нейронных решетках. Когерентность существенна для работы мозга в целом, т. е. при информационных процессах в q , q^+ и s структурах и при их взаимодействии.

Процесс реконструкции (узнавания) образа связан с использованием когерентной опорной волны, возникающей, по-видимому, в активном левом полушарии мозга. С помощью этой волны восстанавливается голограмма копии волны, которая несет в себе полную информацию об объекте, записанная в кооперативно-взаимодействующих периодических пространственных нейронных структурах правого полушария. Последнее, таким образом, выполняет роль голографической «библиотеки» образов, зафиксированных ранее.

Когерентные волны, участвующие в голографических процессах записи и отображения информации (реконструкции образов) с учетом [3], представляют собой, по-видимому, модулированные электромагнитные колебания определенных частот, в том числе и оптических. Поэтому процессы голографирования в мозге могут быть подобны амплитудной оптической голографии. Следовательно, в мозговых структурах на определенных уровнях иерархии возникает возможность создать когерентные источники электромагнитного излучения — природные квантовые генераторы оптического и, видимо, более длинноволнового диапазона.

Зададимся вопросом о материальной природе когерентных источников света в живой материи на определенных уровнях иерархии. Поскольку процессы, происходящие в клетках, протекают в электрических полях внутриклеточных потенциалов среды, являющейся электролитом с достаточным количеством нейтральных макромолекул и ионных форм (возникающих, например, при реакциях переноса электрона), неорганических ионов, выполняющих также роль сопровождающего электролита, то процессы возникновения когерентного излучения происходят, по-видимому, при реакциях рекомбинации разнополярных ионов некоторых биомолекул, т. е. имеют электрохемиизлучательную природу.

Нельзя отрицать возможность осуществления и химических экзотермических реакций с выделением квантов когерентного излучения в оптическом и ИК диапазонах. Созданы ли подобные квантовые генераторы? Химические квантовые генераторы (КГ), в которых излучение возникает при колебательных переходах в молекулах, т. е. работающие в ИК диапазоне, известны уже ряд лет [4]. Обсуждается возможность генерации на электронных переходах молекул при этих реакциях в видимом диапазоне спектра. До настоящего времени еще не созданы ОКГ на электрохимических реакциях органических молекул в жидкой фазе, т. е. на основе использования явления ЭХИ. Однако принципиальная возможность создания электрохимического оптического квантового генератора (ЭХОКГ) показана в работах [5—7]. ЭХОКГ явятся еще одним классом лазеров, работающих в жидкой фазе, и по многим свойствам должны быть подобны хорошо известным ОКГ на красителях, выгодно отличаясь от последних большими КПД, связанными с непосредственным преобразованием электрической энергии накачки в световую и гораздо меньшими возбуждающими напряжениями.

Таким образом, к многочисленным функциям, осуществляемым живыми клетками (и клеточными органеллами) на разных уровнях иерархии, следует добавить способность к излучению модулированных электромагнитных волн, в том числе когерентных, при различных информационных процессах и процессах

записи, хранения и реконструкции информации голографическими методами на пространственных нейронных решетках.

В свете изложенного попытаемся рассмотреть так называемый «эффект Кирлиан» — свечение живых объектов в поле высокочастотного (ВЧ) разряда [3], вызывающий все больший интерес в связи с широкими возможностями его научного и технического применения. Сущность этого явления состоит в следующем: если поместить в ВЧ поле, образованное между пластинами конденсатора, некоторый объект, то при определенных частотах и напряженностях поля вокруг объекта, в соответствии с его геометрией, может возникнуть свечение. В случае предметов неживой природы это свечение статично, т. е. ни длина волн излучения, ни его интенсивность не меняются во времени. Для живых объектов это свечение не постоянно, его интенсивность и цвет меняются от времени и от состояния организма.

Следует отметить, что при исследовании влияния внешнего магнитного поля на свечение неживых объектов (например, металлическая пластинка) наблюдается отклонение под действием поля изображения пластинки на электролюминесцентном экране. Интересным представляется известный феномен со свечением отрезанной части живого организма. Если, например, у листа растения отрезать небольшую часть, то в ВЧ разряде обнаружится свечение контура отрезанного участка, что указывает на проявление в данном случае некоего механизма биологической памяти.

О причине появления свечения у объектов, помещенных в ВЧ поле, до настоящего времени нет единой точки зрения. Некоторые авторы [8, 9] считают, что причиной эффекта является холодная эмиссия электронов из объектов, происходящая под действием ВЧ поля с последующим газовым разрядом, который имеет различный спектральный состав из-за неодинаковых скоростей вырывания электронов из объектов (смещение изображения неживых объектов под действием магнитного поля подтверждает эту гипотезу). Феномен со свечением отрезанного участка органа объясняется наличием голографического механизма записи и реконструкции информации в живых объектах на электронном уровне, предполагая, что живые организмы могут излучать холодные электроны когерентно.

Другие авторы [10], выдвигая концепцию о существовании в организмах организованной определенным образом «биоплазмы», указывают на многокомпонентность эффекта Кирлиан ввиду наличия в живых организмах различных по структуре, яркости и длине волн излучения светящихся центров. Наряду с объяснением свечения наличием «тихого газового разряда» между живым объектом и пластиной конденсатора в [10] предполагается возможность излучения непосредственно из организмов фотонов в результате процесса рекомбинации свободных радикалов.

С точки зрения авторов основные факты, относящиеся к возникновению стимулированного ВЧ полем излучения в живых объектах, можно объяснить существованием в таких объектах свечения, природа которого тождественна ЭХИ (фотонная компонента). Свечение объектов неживой природы обусловлено, очевидно, автоэлектронной эмиссией, которая может вносить вклад в эффект Кирлиан живых систем (электронная компонента эффекта).

Рассмотренная выше модель когерентного мозга позволяет определить свечение, возникающее в ВЧ поле, как кооперативный эффект, в котором имеются некогерентная и когерентная составляющие излучения. Длины волн высвечивания зависят от ионно-молекулярного состава образований в живой ткани. Они могут быть подобны комплексам типа мицелл, возникающих в полярных растворах ряда электрофлорных композиций, изученных авторами. Состав подобных образований, а следовательно, и параметры свечения должны быть функцией состояния организма, что проявляется в вариациях излучения в ВЧ поле. Феномен со свечением отрезанной части органа представляет собой, по-видимому, восстановленную голограмму записи информации о состоянии живой ткани, созданную стимулированным ВЧ полем когерентным ЭХИ в живом объекте. Математическую модель подобной «голопамяти» можно построить в рамках теории когерентного мозга [1, 2].

Интенсивное и долговременное свечение живых объектов не получает убедительного объяснения в гипотезе автоэлектронной эмиссии. Указанное обстоятельство, однако, можно понять, если вспомнить, что ЭХИ органических электрофлорных композиций имеет циклическую (автоколебательную) природу; образование ион-радикалов из нейтральных форм при реакциях окисления — восстановления, радикальные реакции с переносом электрона, при которых могут образовываться продукты в виде возбужденных молекул (как свободных, так и в комплексных типа мицелл), испускание квантов ЭХИ с рождением прежних нейтральных молекул и т. д.

Конечно, эффективность подобного цикла не равна 100%. В процессе последовательных окислительно-восстановительных реакций могут образовываться и продукты, тушащие ЭХИ, что наблюдается при исследовании целого ряда электрофлорных композиций. В свете изложенного можно понять эффект «истощения» излучения, описанный в [10]. Рассматривая биоэнергетику жизненных процессов, нельзя забывать о следующем: процессы, в которых участвуют ферменты, в частности, окислительно-восстановительные реакции, происходящие в высокополярных средах, идут по путям, мало вероятным с точки зрения осуществления подобных процессов вне живых организмов, поскольку в живых клетках существуют запреты на осуществление самых вероятных (в смысле прохождения их вне живой системы) ре-

акций. Последние характеризуются малыми выходами и, как следствие, выделяют значительную энергию, бесполезную для организмов, в виде, например, тепла. Для нормальной работы клетки это обстоятельство недопустимо.

С этой точки зрения цикличность ЭХИ, наблюдающаяся в экспериментах по исследованию электрофлорных композиций, а также большие значения квантовых выходов ЭХИ (предсказанных теоретически) хорошо подчиняются закономерностям биоэнергетики клетки. Укажем, что слабое излучение клеточных образований наблюдается и при отсутствии ВЧ поля в виде мезогенетического излучения [11], которое, по-видимому, может иметь хемилюминесцентную и, что менее вероятно, ЭХИ природу.

Рассмотрим возможные причины влияния постоянного магнитного поля слабой напряженности на свечение живых объектов в ВЧ поле, которое, как известно, приводит к уменьшению интенсивности излучения (без существенного смещения светящихся центров) [10]. Известно, что внешнее постоянное магнитное поле небольших напряженностей приводит к изменению ЭХИ ряда электрофлорных композиций, что объясняется взаимодействием с полем триплет-возбужденных молекул активатора [12].

Наложение внешнего поля, приводящее к известному ослаблению, а затем к стабилизации свечения живой материи в ВЧ поле, может быть обусловлено изменением констант скоростей некоторых реакций, приводящих к испусканию квантов ЭХИ, которые происходят в кооперативных комплексах, например, триплет-триплетной аннигиляции или скорости распада синглетных экситонов на триплетные. Именно этими факторами в работе [13] объясняется влияние слабого магнитного поля на выход флуоресценции возбужденных комплексов, связанных обменным взаимодействием у такого известного активатора в ЭХЛ, как рубрина. Подобное изменение констант скоростей реакций можно объяснить влиянием внешнего поля на степень упорядоченности частиц, связанных силами обменного взаимодействия в комплексах типа мицелл.

Зададимся вопросом о материальной сущности механизмов голозаписи в эффекте Кирилян. Трудно представить, что возникновение ЭХИ (в том числе и когерентного), а также запись, хранение и реконструкция с помощью когерентного излучения происходит на уровне генов, т. е., в клеточном ядре. Известно, что морфологическая информация фиксируется эндоплазматической сетью цитоплазмы клетки [14]. Следовательно, можно полагать, что в механизмах испускания квантов ЭХИ и процессах голопамяти участвуют цитоплазма клетки и входящие в нее структуры, представляющие собой ионные кластеры, т. е. системы, обладающие высокими значениями электронной плотности, связанные силами кооперативного взаимодействия преимущественно

но обменного характера и с высокой химической и биологической активностью. Поэтому механизмы голопамяти, включающие возникновение когерентного ЭХИ, могут происходить в энзимных и коэнзимных образованиях на клеточных мембранах и мембранах эндоплазматической сети. Системы подобных ионных кластеров, содержащих значительное число ионов, незаменимых для нормального функционирования организмов, наряду с молекулярными и ионными формами макромолекул могут быть тождественны образованиям, обнаруженным в бионеорганических системах, так называемых био-металло-органических структурах (био-МОС), включающих в себя и широко известный препарат мумие.

Авторы считают необходимым дополнить высказанные ранее соображения о единстве структур био-МОС и их высокой биологической активности предположением о наличии в подобных системах большого числа ионов с незаполненными *d*-оболочками и высоких значений спиновой плотности. Подобные спиновые кластеры, расположенные в биологической структуре и связанные силами обменного взаимодействия, представляют, по-видимому, системы с высокой степенью упорядоченности, т. е. образования типа пространственных решеток, удобных для записи и хранения морфологической информации, в частности, с помощью когерентного ЭХИ.

Контур ЭХИ голограмм является образом соответствующего биологического органа, который определяет процессы репарации, регенерации и роста отдельных органов и всего организма в целом. Нарушения в ЭХИ голограммах, в свою очередь, могут рассматриваться как одна из причин развития ряда заболеваний, в частности, злокачественных, а также изменения ростовых функций. Многочисленные примеры влияния содержания *3d*-ионов, незаменимых для роста организмов металлов, приведены в [15]. Подтверждением проявления биологической активности био-МОС структур и, в частности, естественного мумие, могут служить известные данные экспериментов по эффекту Кирлиан, из которых следует, что введение в организм человека мумие приводит к резкому увеличению интенсивности свечения органов в ВЧ поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чавчаваидзе В. В. К квантово-волновой теории когерентной модели мозга. Структура когерентного мозга. — В кн.: Бионика. Вып. 7. Киев, 1973. с. 102—112.
2. Чавчаваидзе В. В. Квантово-волновая теория информационных процессов и самоорганизация дискретных нейронных систем. — «Сообщения Института кибернетики АН ГССР». Вып. III. Тбилиси, 1970, с. 1—33.
3. Казначеев В. П., Шурин С. П., Михайлова Л. П. Явление межклеточных дистантных электромагнитных взаимодействий в системе двух тканевых культур. — Дипл. № 122. Бюл. ОИПОТЗ, № 19, 1973, 3 с.
4. Джиджоев М. С., Платонов В. Т., Хохлов Р. В. Химические лазеры. — «Усп. физ. наук», 1970, т. 100, вып. 4, с. 641—679.

5. Keszthelyi C. P. Possible Laser Action in Mixed 9, 10 DPA—TH System. — «J. Electrochem. Soc.», 1973, v. 120, № 2, p. 39.
6. Measures R. M. Prospects for Developing a Laser Based on Electrochemiluminescence. — «Appl. Opt.», 1974, v. 13, № 5, p. 1121—1133.
7. О возможности создания стимулированного излучения в электрохемилюминесцентных системах. — В кн.: Сцинтилляторы и органические люминофоры. Вып. 3. Харьков, 1974, с. 134—138. Авт.: А. И. Бых, И. Ф. Огороднейчук, Н. Н. Рожцкий и др.
8. Кирлиан С. Д., Кирлиан В. X. Фотографирование и визуальное наблюдение при посредстве токов высокой частоты. — «Журн. научн. fotogr. и кинематограф», 1961, т. 6, № 6, с. 397—403.
9. Адаменко В. Г. Автоэлектронная эмиссия живых организмов. — В сб.: Вопросы биоэнергетики. Алма-Ата, 1969, с. 35—41.
10. Инюшин В. М., Грищенко В. С. О биологической сущности эффекта Кирлиан. Изд-во Казахск. ун-та, 1968, с. 3—38.
11. Гурвич А. Г., Гурвич Л. Д. О деградиационном метогенетическом излучении центральной нервной системы. — «Арх. биол. наук», 1937, т. 45, с. 221—225.
12. Santhanam K. S. V. Magnetic Field Effect on Electrochemiluminescence of Carbazole. — «Canad. J. Chem.», 1971, v. 49, p. 3577—3578.
13. Франкевич Е. Л., Румянцев Б. М., Лесин В. И. Модуляция слабым магнитным полем квантового выхода флуоресценции возбужденных комплексов. — «Оптика и спектроскопия», 1974, т. 37, вып. 2, с. 376—378.
14. Робергис Э., Новинский В., Саэс Ф. Биология клетки. М., «Мир», 1973. 223 с.
15. Burström H. Growth Regulations by Metals and Chelates. — «Adv. Bot. Res.», 1963. B. 1. S. 73—100.

Получила 20 августа 1975 г.

УДК 62.506.2

В. С. ПОЛИКАРПОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТУИЦИИ

Одной из актуальных задач современной науки является моделирование мышления, связанное с проблемой автоматизации процесса научной деятельности посредством искусственных кибернетических систем. Электронно-вычислительные машины не только с большой скоростью выполняют различные математические вычисления, накапливают, отыскивают и выдают научную информацию, но и обладают способностью решать такие задачи, которые еще совсем недавно были монополией творческого мышления человека. Уже сегодня существуют и работают мощные электронно-вычислительные машины, которые заменяют человеческий мозг в целом ряде аналитических операций (например, решение сложных математических и логических задач). Проведены серьезные опыты по самопрограммированию, самосоучению, распознаванию образов, доказательству теорем и т. д. Делаются попытки автоматизировать творческую деятельность человека.

Необходимость изучения закономерностей творческой деятельности человека и ее моделирование на электронно-вычисли-

тельных машинах является в наше время важным делом. Ведь творчество имеет колоссальное социальное значение. Оно вызвано к жизни определенными потребностями, имеющими общественный характер.

Человек в процессе творчества из материала, имеющегося в его распоряжении, создает качественно новое. Это новое возникает в результате переделки формы вещей, их связей и отношений, т. е. человек изменяет «форму того, что дано природой» (К. Маркс).

В. И. Ленин отмечал: «Деятельность человека, составившего себе объективную картину мира, **изменяет** внешнюю действительность, уничтожает ее определенность (= меняет те или иные её стороны, качества)...» [1, с. 199]. Таким образом, творчество состоит не в подражании существующему, а заключается в преобразовании форм реальности. Человек как деятельное, активное существо не только созерцает и познает объективную реальность, но и трансформирует ее. Прежде чем преобразовать реальный мир практически, нужно уметь преобразовать его теоретически, т. е. провести мысленный эксперимент. Эта потребность и лежит в основе воображения. Оно тесно связано со способностью человека активно преобразовывать действительность и творить что-то новое. Метко заметил А. М. Горький, что «именно вымысел и замысел поднимают человека над животным» — вымысел прежде всего как замысел.

Воображение имеет важное значение для постижения истины в науке. Формулировка вопросов, предлагаемых ученым природе, зависит главным образом от воображения. Подобная мысленная конструкция есть гипотеза. Гипотеза — поэма ученого. Она возникает в результате случая, труда и интуиции (творческого воображения). Интуиция присутствует, как правило, в любом процессе познания и ее нельзя игнорировать. «В общем и целом, — подчеркивает Л. Жирарден, — все действительно оригинальные проявления человеческого интеллекта — от решения отдельных задач до создания рабочих гипотез — связаны с интуицией» [2, с. 206]. Следовательно, решение проблемы моделирования творческого мышления связано с выявлением целого ряда научных и философских вопросов, касающихся интуиции, так как творчество немислимо без интуиции.

С давних пор мыслители стараются проникнуть в тайну интуиции. В этом вопросе многие ученые и мыслители стоят на идеалистических позициях. Как обычно, идеализм спекулирует на трудностях науки, на малознакомых сторонах творчества, реального процесса мышления. Представители идеалистической философии пытаются доказать, что интуиция есть единственный источник знания, что субъект непосредственно входит в объект, сливается с ним, познавая его, таким образом, непосредственно. Так, А. Бергсон утверждал, что интуиция — «такой род интеллектуальной симпатии, посредством которого

человек переносится внутрь объекта, чтобы слиться с тем, что есть в нем единственного в своем роде и, следовательно, невыразимого» [3]. Он противопоставляет интуицию интеллекту, логическому мышлению, возводит интуитивное мышление на пьедестал мистики. К тому же неизвестно, откуда берется интуиция.

Философы-материалисты выступают не против интуиции, а против ее мистификации и противопоставления интеллекту. Под интуицией обычно понимают особый способ проникновения в сущность вещей как социального, так и природного бытия. Все исследователи, занимающиеся проблемой интуиции, единодушно подчеркивают черты, которые сопровождают интуитивное мышление: «внезапность», «озарение», «алогичность», «неосознанность», «непосредственность», «очевидность», т. е. предметы познаются как бы сразу, непосредственно. Несомненно, что перечисленные черты интуиции характеризуют определенные моменты творчества.

В действительности же непосредственное охватывание сущности предмета человеком только в первом приближении внешне кажется непосредственным. Ведь чтобы что-то постигнуть, нужно обладать знанием. К тому же интуиция бывает двойственной. А. Эйзенштейн и Л. Инфольд подчеркивают, что «интуитивным выводам не всегда можно доверять, так как они иногда ведут по ложному пути» и что «самое очевидное интуитивное объяснение зачастую бывает ложным» [4, с. 14, 16]. Следовательно, догадки, построенные на интуиции, нуждаются в проверке.

Исследование творческих поисков свидетельствует о том, что «внезапное» решение проблемы (например, Кеплером, Менделеевым, Кекуле, Пуанкаре) было подготовлено предшествующими усилиями в поисках решения. В. Полонский пишет: «Озарение — внезапность, ясность. Но почему эта ясность появилась внезапно? Да просто потому, что таков психологический эффект всякого увенчания долгих и упорных поисков. «Внезапность» ощущается всегда, когда поиски были длительными, внимание напряжено, когда обостренное сознание с нетерпением ищет решения и не находит» [5, с. 98]. На этот момент указывает и М. Бунге: «Прозрение... приходит в результате тщательного анализа проблемы, ... но никогда до обнаружения, формулирования и изучения проблемы» [6, с. 159]. И, наконец, об «алогизме» интуиции: Под этим понимают скачок в ходе мыслительного процесса: свернутость логического процесса мышления, когда результат явливается, а как он получен, об этом нет представления. «Понятие интуиции вполне правомерно, — утверждает И. Чуева, — когда под ней понимается способность нашего мышления и сокращенному логическому рассуждению и установлению ассоциативных связей между явлениями, которые на первый взгляд не связаны» [6, с. 104].

Перечисленные выше черты интуиции дают основание для существования точки зрения, согласно которой невозможно мо

дслировать творческий процесс на электронно-вычислительных машинах. Обосновывается это следующим образом. Общество— это система, генерирующая гипотезы, чтобы поставить внешний мир под свой контроль. Согласно гипотезам строится модель природного процесса, а также делаются предположения о возможных изменениях, ожидаемых в процессе преобразования предмета. Основным звеном, реализующим функции творчества в обществе, является человек. Он обладает «субъективностью» и «познавательные возможности» его мозга ограничены. Следовательно, о деятельности человека можно сделать следующие предположения [7].

1. Процесс творчества (нахождение решения проблемы) в значительной степени предопределяется личными особенностями индивида, его опытом и фактическими знаниями черт и особенностей исследуемого явления.

2. На процессе творчества всегда сказываются пробелы в знаниях, дефицит информации, порождаемый недостаточной изученностью исследуемого процесса.

3. Конечный результат поиска представляется зачастую неточно, в самых общих чертах.

4. В силу огромной сложности природных процессов гипотезы, генерируемые индивидом, представляют собой сложные системы логических построений и эвристик. А это, в свою очередь, влечет возможность приближенных и даже неверных решений. Иными словами, генерирование гипотез о процессах внешней реальности является в большинстве случаев искусством и не может быть проверено до фактической реализации в системе экспериментов. Фактически утверждается алогичность творчества, а следовательно, и невозможность его моделирования на искусственных кибернетических устройствах. При этом часто ссылаются на интуицию, на некоторое «внезапное» озарение, которое позволяет получить новое знание без, как кажется, всякой логики.

По-иному подходит к механизму интуиции В. С. Библер в тезисах «Научная интуиция и ее логический подтекст». Он заявляет, что «канонический свод «интуиции», «видение сущности очами разума», «самоочевидность», «подсознательность» и др.— «скрыто содержит элементарную модель логики творчества, правда, в искаженной и превращенной форме», что «логику интуиции» нужно искать «в логике самого предмета, соответственно в логике предметной деятельности, в частности, в логике мысленного преобразования идеального предмета (модели)», что творческий мыслительный процесс складывается из рассудочной, разумной и интуитивной (конструктивной) познающих деятельностей.

В. Библер строит следующую модель интуитивного мышления: в ходе развития научной теории возникает ее несоответствие с созданной мысленной моделью; при попытке устранить

это несоответствие у ученого возникает эффект калейдоскопа. Очень быстро перестраивается мысленный материал. Это изменение происходит по логике мысленного предмета, который воспроизводит в идеальной модели логику реального объекта (предмета). Именно с эффектом калейдоскопа связаны такие психологические черты интуиции, как «озарение», «самоочевидность», нерасчлененность интуитивных актов. Следовательно, по В. Библеру, интуитивная работа мышления есть не что иное, как реальная работа мышления, и сам термин интуиции лишается смысла. Законы же реального мышления вскрываются диалектической логикой.

На наш взгляд, интуиция является моментом мыслительной деятельности человека и ее черты можно в принципе промоделировать на электронно-вычислительных машинах. Машина же всегда выступает либо как инструмент, орудие исследования, либо как модель. Понятие моделирования имеет большое гносеологическое значение. Модель зачастую «копирует» что-то, что уже существует, даже если в ней воспроизводится не материал оригинала, а лишь его функция, т. е. та деятельность, которую он выполняет. Поэтому для того чтобы построить модель процесса, необходимо его описать таким образом, чтобы инженер мог воспроизвести его. Хотя этот общий принцип сам по себе не вызывает никаких сомнений, применение его к моделированию интуиции представляет большие трудности, поскольку механизм интуиции является «черным ящиком». Внутренние законы интуитивного мышления до сих пор не раскрыты. Однако если подходить к проблеме с собственно функциональной точки зрения, т. е. рассматривать интуицию как своеобразный комплекс упомянутых черт («озарение», «алогичность» и пр.) умственной деятельности, то кое-чего можно достичь в решении проблемы.

Кибернетическая машина есть овеществленный продукт мышления многих человеческих поколений, дух общества, ставший вещью. В них действительно удалось достичь «отчуждение духа в природу», о чем писал Гегель [8, с. 435]. Справедливо и другое его замечание о том, что «дух в самоотчуждении познает самого себя», если под «духом» подразумевается человеческий разум, а под «самоотчуждением» — процесс объективации общественным субъектом своих знаний о себе и внешнем мире в технике (в средствах труда). Действительно, тенденция развития общества такова, что в связи с техническим прогрессом усиливается процесс самоотчуждения, т. е. по мере познания природы и себя люди постепенно передают свои функции, в частности, машине и воплощают их в ней.

Искусственная, «очеловеченная» природа является каналом связи между человеком и «естественной природой». Не случайно К. Маркс писал о том, что промышленность есть открытая книга человеческих сущностных сил. А это означает, что совершенствованию машины нельзя ставить принципиальных границ,

в противном случае мы ограничиваем совершенствование человеческого познания, самого человека и общества. Совершенствование кибернетических машин происходит на наших глазах. Так, американские кибернетики А. Фогель, А. Оуэнс и М. Уолш при решении проблемы создания искусственного интеллекта пошли по пути так называемого эволюционного программирования. Они исходят из общественного факта, что естественная эволюция есть процесс, включающий в себя воспроизведение в условиях мутаций, естественный отбор, случайные комбинации, индивидуальное обучение и т. д. Есть надежда, что «при воспроизведении специфических черт эволюции будут найдены средства для создания автоматов, наделенных искусственным интеллектом, автоматов, способных решать задачи ранее не известными путями. Это может обеспечить более глубокое понимание самой организации интеллекта» [9, 10].

«Интеллект» определяется Л. Фогелем как способность кибернетического устройства решать проблемы путем смены целей. Известно, построение алгоритмов смены целей — это самая трудноразрешимая проблема при бионическом и эвристическом моделировании, потому что трудно определить, почему и как человек изменяет свои цели. В то же время оказывается, что именно разнообразие целей позволяет человеку достичь своего.

Л. Фогель и его сотрудники определяют «искусственный» интеллект как генератор «озарений», «инсайтов», что позволяет найти новые методы решения научных проблем. Их модель основана на случайном поиске, что позволяет генерировать новую информацию. Основным в эволюционном моделировании является акт предсказания. Искусственный интеллект путем изучения символов «среды» (среда — любой источник информации) в прошлом и настоящем предсказывает будущий символ. Эволюция состоит в самоусовершенствовании алгоритма предсказания: алгоритм-потомок предсказывает будущее лучше (при вырождении — хуже) алгоритма-родителя. «Потомок» получается из «родителя» путем мутации — случайных изменений параметров, входящих в формулу предсказаний, по таблице случайных чисел. Повышение точности предсказания закрепляется специальным блоком штрафных команд.

В модели эволюционного программирования учтен и уровень абстракции, благодаря которому генерируемая новая, неожиданная для исследователя идея. Л. Фогель и другие заявляют, что старое изречение «машина никогда не знает больше, чем программист», неверно. Рассматриваемая эволюционирующая самонастраивающаяся система состоит из детерминированной (осуществляющей отбор лучших решений) и индетерминированной (осуществляющей самопроизвольный процесс самоорганизации) частей, что и приводит к «озарению».

Моделирование, рассмотренное Л. Фогелем, А. Оуэнсом и М. Уолшем, фактически представляет собой автоматизацию

научного метода — метода итераций, позволяющего приобрести новые знания о природе исследуемой среды. Итерационный процесс создания моделей сведен к рутинному процессу. «Если творчество и воображение, — подчеркивают Л. Фогель и другие, — являются неотъемлемым атрибутом этого процесса, то они, стало быть, также были промоделированы» [9, с. 161]. Следовательно, автоматизация научного метода создает основу для реализации «искусственного» интеллекта и тем самым демонстрирует принципиальную возможность моделирования интуиции через ее черты (озарение, внезапность и т. д.). Таким образом, на вопрос: можно ли промоделировать на электронно-вычислительных машинах интуицию, следует ответить положительно в противоположность тем, кто утверждает обратное.

Типичным аргументом противников моделирования творческой деятельности (в том числе и интуиции) человеком является утверждение, что творческую деятельность и интуицию нельзя воссоздать адекватно на небиологическом и социальном субстратных уровнях.

Однако данные современной науки свидетельствуют о противном. Известно, что органические молекулы вообще могут не меняться химически под внешним воздействием, а переходят лишь в иное состояние в результате перераспределения энергии, образования временных лабильных связей, поворотов отдельных групп атомов и т. д. Этот момент важен для дальнейшей биохимической эволюции материи: «слабые и эфемерные физические силы, лишь слегка модифицирующие молекулы; при сохранении ее химической структуры, накапливаясь в макромолекулах и их комплексах, становятся основой для формирования структур живого» [10, с. 94]. На этом этапе развития материи переход от химии к биологии выступает как возврат к физике. К тому же электронно-вычислительная машина как орудие человека включена в систему общественных отношений. Все это позволяет утверждать, что электронно-вычислительные машины являются своеобразными моделями отдельных сторон творческой деятельности человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29. 782 с.
2. Жерарден Л. Бионика. М., «Мир», 1971. 231 с.
3. Бергсон А. Собрание сочинений. Т. 5, СПб, 1914. 120 с.
4. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., «Наука», 1965. 326 с.
5. Бунге М. Интуиция и наука. М., «Прогресс», 1967. 250 с.
6. Полонский В. Сознание и творчество, Л., «Наука», 1967. 90 с.
7. Вопросы эвристического моделирования. Киев, 1969. Вып. 1. 170 с.
8. Клаус Г. Кибернетика и философия. М., Изд-во иностр. лит. 1963. 200 с.
9. Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М., «Мир», 1969. 230 с.
10. Жданов Ю. А. Углерод и жизнь. Изд-во Ростовск. ун-та, 1968. 140 с.

Поступила 20 июня 1974 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Ефимов В. И., Клименко А. В., Богатырева Т. М. Качественный анализ динамических свойств нейронных сетей из адаптивных элементов. Сообщение 1.	3
Зозуля Ю. И. Согласование элементов бионической системы в циклах взаимодействия	10
Бугай Ю. П. Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 6.	21
Нефедов Ю. И. Использование телевизионных систем для пространственно-временной фильтрации изображений. Сообщение 3	30
Колотенко Г. А., Филатов А. Т., Крыгина В. И. Повышение эффективности целенаправленной деятельности операторов системы автоматизированного управления. Сообщение 7	39
Чудаков В. Н. Классификация нормальных и аномальных форм интеллектуальной деятельности на основании квантово-волновой теории когерентного мозга. Сообщение 1	46
Ананян В. Ф. Биотехнический подход к исследованию механизмов кодирования внешнего стимула в сетчатке глаза человека и их роль в зрительном процессе	61
Чудаков В. Н., Макаров В. В. О возможности построения геометрической модели памяти	70
Ловицкий В. А. Система формирования понятий для объектов, заданных неявным набором признаков	73
Попов В. А., Скибенко И. Т., Василенко А. С. Об одной цифровой модели нейрона	81
Раннев В. А., Сердобольский В. И. Автоматическое построение оптимальных вероятностных грамматик по языку	85
Бузницкая Э. М., Свинарь Н. К. Об одном подходе к экспликации понятия естественного языка	91
Гохлернер М. М., Ейгер Г. В., Юхт В. Л. Некоторые особенности эвристической деятельности переводчика и моделирование искусственного интеллекта	94
Леонов В. П. Моделирование нейронных механизмов в электрохемилюминесцентной ячейке. Сообщение 3. Торможение	99
Попов В. Г., Трусов В. А. Оценка эффективности автоматизированных обучающих систем методами цепей Маркова	103
Худеский Ю. К., Рожницкий Н. Н., Бых А. И. Электрохемилюминесценция органических веществ и его роль в биологических процессах. Сообщение 2. Возможность моделирования некоторых процессов в сложных биологических системах с помощью электрохемилюминесценции.	109
Полякарпов В. С. О возможности моделирования интуиции	116