

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

# ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Республиканский  
межведомственный  
научно-технический  
сборник

ВЫПУСК 24

Основан в 1968 году

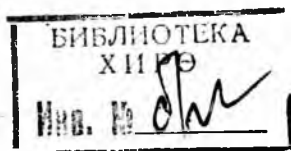
XHYRE Problemv byonyky



B-969-2

2111

83



ХАРЬКОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»  
1980

32.818  
П78  
УДК 007 : 573.6

**Проблемы бионики.** Вып. 24. — Респ. межвед. науч.-техн. сборник. — Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 123+5.

В сборнике рассматриваются вопросы математического и аппаратного моделирования процессов переработки информации на различных уровнях нервной системы. Обсуждаются модели и методы исследования интеллектуальной деятельности, затрагиваются проблемы переработки словесной информации, распознавания образов, построения специализированных вычислительных систем.

Для научных работников и специалистов в области кибернетики, вычислительной техники, инженерной психологии и медицины.

Списки лит. в конце статей.

*Редакционная коллегия:* Ю. П. Шабанов-Кушнарченко (отв. ред.), А. Г. Мурашко (зав. отв. ред.), В. М. Бондарев (отв. секр.), Н. М. Амосов, Ю. П. Бурай, А. А. Волков, В. Г. Грабина, А. В. Дабагян, Г. Ф. Дюбко, К. А. Иванов-Муромский, В. А. Ловицкий, Е. П. Путятин, В. Я. Сердюченко, Г. Ф. Червов, Л. И. Шкляров.

*Адрес редакционной коллегии:*

310659, Харьков, пр. Ленина, 14, институт радиоэлектроники, тел. 40-94-32

Редакция естественнонаучной литературы

**О КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТАХ**

В статье развиты идеи работы [1]. Вводится понятие конечного алфавитного оператора. К нему естественным образом приводит ознакомление с принципом действия цифровой вычислительной машины. Любая вычислительная система, будь то машина в целом или ее отдельный блок, представляет собой устройство, осуществляющее преобразование информации. Эта система имеет вход, принимающий подлежащую обработке информацию, и выход для выдачи выходной информации, сформированной вычислительной системой в ответ на поступившую в нее. Входная и выходная информации имеют вид знаковой последовательности, называемой словом. Знаки, из которых составлено слово, называют буквами.

Любая вычислительная система подвержена следующим ограничениям: 1) алфавит букв, из которых строятся слова для любой конкретной вычислительной системы, всегда конечен; 2) длина слов, которые способна воспринимать и формировать эта система, ограничена наперед заданным числом букв, определяемым конструкцией системы, ее быстродействием и сроком службы; 3) реакции вычислительной системы строго детерминированы: повторное предъявление входного слова всегда приводит к формированию системой того же самого выходного слова. Человеческий интеллект в функциональном отношении весьма сходен с цифровой машиной и имеет те же ограничения, что и любая вычислительная машина. Так же, как и человеческий интеллект, вычислительная машина способна воспринимать, преобразовывать и формировать информацию. Роль входа информации у человека выполняют органы чувств, выхода — органы движения и речи. Информация, с которой оперирует человеческий интеллект, выражена словами в виде текстов и звучащей речи. Из-за конечной чувствительности и разрешающей способности органов чувств, а также из-за их ограниченной полосы пропускания частот человеческий интеллект различает лишь конечное число букв [2, с. 14—16].

Длина слов, которые способен воспринять, обработать и выдать во внешний мир человеческий интеллект, также огра-

ничена. Это обусловлено конечной скоростью восприятия информации, а также ограниченным временем человеческой жизни. Менее очевиден детерминированный характер реакций человеческого интеллекта. Кажущаяся «свобода» нашей воли объяснима тем, что механизмы сознания составляют лишь небольшую часть его. Не имея возможности проследить во всех деталях операции собственного интеллекта, приведшие к тем или иным действиям, человек склонен считать эти действия плодом своей «свободной воли».

Известное в кибернетике понятие алфавитного оператора может служить средством математического описания деятельности интеллекта. Входные слова — воспринимаемая информация, выходные — информация, формируемая интеллектом. Закономерности преобразования информации соответствуют тем или иным алфавитным операторам, преобразующим входные слова в выходные. Задача математического описания функций интеллекта заключается в том, чтобы указать соответствующие этим функциям алфавитные операторы.

И все же понятие алфавитного оператора обладает одним существенным недостатком — его задают в бесконечной области, в которой встречаются слова сколь угодно большой длины. Это обстоятельство приводит к тому, что в понятии алфавитного оператора потенциально присутствует бесконечность. Последнее создает определенные неудобства при математическом описании функций интеллекта и практическом использовании этими описаниями. Неудобств можно избежать, заменив понятие алфавитного оператора близким к нему понятием конечного алфавитного оператора. Различие между ними состоит лишь в том, что конечный алфавитный оператор задается не на бесконечной области  $M = A^0 \cup A^1 \cup A^2 \cup \dots$  слов произвольной длины алфавита  $A$ , а на конечной области  $M = A^m$  слов одинаковой длины  $m$ .

Понятие конечного алфавитного оператора может служить средством математического описания функций интеллекта. Ограничение, наложенное на длину слов, не является препятствием для его использования, поскольку, как указывалось выше, интеллект тоже подвержен такому ограничению. В качестве  $m$  должно быть выбрано число, не меньшее максимальной длины слов, с которыми может оперировать описываемый интеллект. Правда, возникает затруднение — интеллект способен оперировать со словами различной длины, тогда как в понятии конечного алфавитного оператора фигурируют слова одинаковой длины.

Это затруднение, однако, легко преодолевается введением в алфавит  $A$  специальной буквы  $\square$ , называемой знаком пробела или просто пробелом. Слово, имеющее длину, меньшую, чем  $m$ , при его математическом описании заменяется словом длины  $m$ , правая часть которого совпадает с исходным, а левая часть представляет собой последовательность пробелов. При чтении

формальной записи слова знаки пробела, стоящие в слове левее всех остальных букв, не должны приниматься во внимание. Например, если выбрано  $m = 6$ , то слово *лист* будет формально представлено в виде слова  $\_ \_ \_ \_ \_ \_ \text{лист}$ . Положение здесь точно такое же, как при машинной записи числовых кодов: длина всех кодов принята одинаковой, однако нули, стоящие в левой части кода, при его чтении во внимание не принимаются. Если определить понятие конечного алфавитного оператора таким образом, чтобы в его область определения вошли слова меньшей длины, то существенно усложняется математический язык для записи таких операторов.

В области определения конечного алфавитного оператора  $M$  всего содержится  $s = k^n$  слов, т. е. ровно столько, сколько имеется  $n$ -разрядных  $k$ -ичных числовых кодов. Всего существует  $s^c$  всюду определенных различных конечных алфавитных операторов, заданных на  $M$ . Для каждой функции интеллекта можно выбрать число  $k$  букв алфавита  $A$  и предельную длину слов  $m$  такие, что в множестве всевозможных конечных алфавитных операторов, заданных на множестве  $M = A^m$ , всегда найдется такой конечный алфавитный оператор (частичный), который может быть принят в качестве адекватного математического описания этой функции интеллекта. Задача состоит в том, чтобы, сообразуясь с фактическими свойствами изучаемой функции интеллекта, суметь выделить этот оператор и записать его в виде формулы на некотором математическом языке. Реализуя полученную формулу на цифровой вычислительной машине, можно изученную функцию интеллекта затем искусственно воспроизвести.

Для того, чтобы иметь возможность математически описывать функции интеллекта, необходим формальный язык для записи любого конечного алфавитного оператора в удобной форме. Такой язык дает описываемая ниже алгебра конечных предикатов. Введем понятие конечного предиката. Пусть  $A$  — конечный алфавит, состоящий из  $k$  букв  $a_1, a_2, \dots, a_k$ ,  $\Sigma$  — множество, состоящее из двух элементов, обозначаемых символами  $0, 1$  и называемых соответственно ложью и истиной. Переменную, заданную на множестве  $A$  назовем буквенной, а переменную, заданную на множестве  $\Sigma$  — логической. Конечным  $n$ -местным предикатом над алфавитом  $A$  назовем любую функцию  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  от  $n$  буквенных аргументов  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , заданных на множестве  $A$ , принимающую логические значения  $y$ . Иногда будем называть конечный предикат  $f$   $k$ -ичным, подчеркивая этим, что его алфавит  $A$  состоит из  $k$  букв. Любой конечный предикат можно задать с помощью таблицы, в которой каждому набору значений аргументов  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ставится в соответствие значение предиката  $y$ .

Наборы значений аргументов  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$   $n$ -местных  $k$ -ичных предикатов удобно интерпретировать как  $n$ -разрядные  $k$ -ич-

ные числовые коды. При этом буквы  $a_1, a_2, \dots, a_k$  алфавита интерпретируем как  $k$ -ичные цифры  $0, 1, \dots, k-1$ . В табл. наборы значений аргументов располагаются в порядке возрастания представляемых ими чисел. Число всех различных наборов значений аргументов  $n$ -местного  $k$ -ичного предиката равно  $k^n$ . Каждому набору присвоим номер, в качестве которого примем число, соответствующее этому набору при его интерпретации в виде кода. Пронумеруем все  $k$ -ичные  $n$ -местные предикаты. С этой целью последовательность значений предиката интерпретируется как  $n$ -разрядный двоичный код (символ 0 — цифрой 0, а символ 1 — цифрой 1). Число, соответствующее этому коду, примем в качестве номера конечного предиката. Число всех различных  $n$ -местных  $k$ -ичных предикатов равно  $2^{k^n}$ .

Каждому конечному алфавитному оператору адекватен и тот, который свой конечный предикат. Пусть  $y_1 y_2 \dots y_m = F(x_1 x_2 \dots x_m)$  произвольно выбранный конечный алфавитный оператор, преобразующий входные слова  $x_1 x_2 \dots x_m$  длины  $m$  в выходные  $y_1 y_2 \dots y_m$  той же длины, составленные из букв алфавита  $A$ . Построим  $2m$ -местный конечный предикат  $f(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m)$  над алфавитом  $A$ , руководствуясь следующим правилом:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_1 y_2 \dots y_m = F(x_1 x_2 \dots x_m), \\ 0, & \text{если } y_1 y_2 \dots y_m \neq F(x_1 x_2 \dots x_m). \end{cases}$$

Запишем уравнение

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m) = 1.$$

Подставляя в него буквы входного слова  $x_1 x_2 \dots x_m$  алфавитного оператора  $F$ , получим в результате решения этого уравнения буквы выходного слова  $y_1 y_2 \dots y_m$ . Таким образом, предикат  $f$ , построенный указанным способом, содержит в себе всю информацию об интересующем нас алфавитном операторе  $F$ .

Отметим, что точно таким же способом можно задать с помощью конечных предикатов не только всюду определенные, также и любые частичные конечные алфавитные операторы. Если для входного слова  $x_1, x_2 \dots x_m$  алфавитный оператор  $F$  ставит в соответствие никакого выходного слова, уравнение для заданного набора значений аргументов  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  имеет ни одного решения относительно набора переменных  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ , т. е. решение этого уравнения не существует.

Важно, что с помощью одного конечного предиката можно задать целое семейство конечных алфавитных операторов. Это достигается введением в предикат дополнительной переменной значениями которой служат номера задаваемых алфавитных операторов. Например, нужно представить в виде конечного предиката семейство, состоящее из трех алфавитных операторов

$y_1 y_2 \dots y_m = F_1(x_1 x_2 \dots x_m)$ ,  $y_1 y_2 \dots y_m = F_2(x_1 x_2 \dots x_m)$ ,  
 $y_1 y_2 \dots y_m = F_3(x_1 x_2 \dots x_m)$ . Строим  $2m + 1$ -местный предикат  
 $f(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m, z)$ , полагая, что при  $z = 1$  он  
отвечает алфавитному оператору  $F_1$ , при  $z = 2$  — оператору  $F_2$ ,  
при  $z = 3$  — оператору  $F_3$ .

Посредством конечных предикатов можно представлять одно-  
значные и конечные многозначные алфавитные операторы. По-  
следним назовем такое соответствие  $F$ , которое сопоставляет  
каждому входному слову из  $A^m$  некоторое семейство выходных  
слов из того же множества. Если для входного слова  $x_1, x_2 \dots x_m$   
алфавитный оператор  $F$  ставит в соответствие несколько выхо-  
дных слов, это значит, что уравнение (2) для заданного набора  
значений аргументов  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  имеет несколько решений  
относительно набора переменных  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ .

Многозначный оператор можно рассматривать как обобще-  
ние понятия однозначного конечного алфавитного оператора.  
Однозначные операторы — это такие многозначные операторы,  
которые каждому входному слову ставят в соответствие неко-  
торое множество выходных слов, состоящее не более чем из  
одного слова. Если каждому входному слову отвечает множе-  
ство, состоящее не менее чем из одного слова, то такой конеч-  
ный алфавитный оператор будет всюду определенным. Если же  
некоторым из входных слов соответствует пустое множество  
слов, то такой алфавитный оператор — частичный.

Вводя конечные предикаты, получили не только средство  
представления для однозначных конечных алфавитных опера-  
торов, но и возможность представления многозначных опера-  
торов, которые очень удобны для математического описания  
суждений интеллекта — важных объектов теории.

При переходе от конечных алфавитных операторов к соот-  
ветствующим им конечным предикатам одновременно реализуется  
переход от переменных  $X$  и  $Y$ , значениями которых служат  
слова, к переменным  $x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m$ , пробегающим  
буквенные значения. Переход к буквенным переменным дает  
весьма удобный математический язык для описания функций  
интеллекта. Важно понять, что буквенные переменные невоз-  
можно использовать, если не перейти к конечным алфавитным  
операторам.

При попытке представления этих алфавитных операторов с  
помощью предикатов с буквенными переменными пришлось бы  
столкнуться с необходимостью введения бесконечного числа  
буквенных переменных. Если после ограничения области опре-  
деления алфавитных операторов конечным множеством сохра-  
нить в этой области слова различной длины, это также поме-  
шает перейти к буквенным переменным, так как потребует-  
ся ввести огромное непостижимое переменных. Конечные  
предикаты с буквенными переменными — это та награда, кото-

рую мы получаем в обмен за отказ от традиционного понятия алфавитного оператора.

Рассмотрим пример представления конечного алфавитного оператора с помощью конечного предиката. Пусть дан оператор  $Y = FX$ , преобразующий двухбуквенные слова  $X = x_1x_2$  русского алфавита в однобуквенные —  $y = y_1$ . Вид преобразования указан в табл. 1. Этому алфавитному оператору ставим в соответствие предикат  $z = f(x_1, x_2, y_1)$ , описываемый табл. 2. В таблице указаны не все столбцы, а только те из них, у которых в последней строке стоит значение 1.

Таблица 1

|   |    |    |    |   |    |    |
|---|----|----|----|---|----|----|
| X | до | ре | ми | а | ля | си |
| Y | а  | о  | у  | и | е  | я  |

Таблица 2

|       |   |   |   |   |   |   |
|-------|---|---|---|---|---|---|
| $x_1$ | д | р | м | ф | л | с |
| $x_2$ | о | е | и | а | я | и |
| $y_1$ | а | о | у | и | е | я |
| z     | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Полагаем, что во всех отсутствующих столбцах предиката принимает значение 0. Поскольку в русском алфавите 33 буквы то общее число столбцов таблицы должно было бы составить  $33^3 \approx 30$  тысяч. В связи со столь резким увеличением размер таблицы может сложиться впечатление, что представление операторов в виде конечных предикатов не дает никаких преимуществ и даже усложняет дело. Однако конечные предикаты в отличие от конечных алфавитных операторов, которые пришлось бы описывать средствами многозначной логики, допускают весьма удобную аналитическую запись, сходную с формулами алгебры логики.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. О теории интеллекта. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 22, с. 15—22. 2. Глушков В. М. Введение в кибернетику. Киев, Изд-во АН УССР, 1964, 324 с.

Поступила 19 июля 1978 год

УДК 007:573.6

Р. Х. ЗАРИПОВ

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ НА ЭВМ

Рассматривается метод моделирования на ЭВМ — объективный способ подтверждения гипотез о закономерностях объекта исследования. Описывается одна из наиболее общих закономерностей творческой деятельности — перенос инвариантной стру-

туры при варьировании ситуации. Механизм переноса иллюстрируется машинной программой, моделирующей мелодические вариации. Полученные результаты позволяют объяснить причину непригодности метода марковских цепей для моделирования музыкальных сочинений.

*При изучении творческой (эвристической, продуктивной) деятельности*, поисках закономерностей мышления и восприятия многие стороны исследуемого объекта не поддаются непосредственному наблюдению — в этом основная трудность. Поэтому при анализе объекта изучения создается лишь гипотетическое представление о многих его свойствах, а задача исследования сводится к проверке этих гипотез.

Объективным методом проверки таких гипотез служит моделирование на ЭВМ, результатом которого служит модель объекта исследования. Необходимость искусственного воспроизведения объекта приводит к познанию и осознанию его существенных черт. При моделировании на ЭВМ в машинную программу включают закономерности, полученные при анализе объекта. Разумеется, что ничего сверх того — то есть неосознанного — машина не использует.

Моделирование на ЭВМ состоит из трех этапов.

Первый этап — анализ объекта исследования. Здесь выявляются закономерности его структуры, его элементы и иерархия отношений между ними. Кроме того, закономерности и принципы строения объекта могут быть сформулированы на основе гипотетических представлений о нем.

Второй этап — синтез модели объекта, как воспроизведение его на ЭВМ с помощью программы, которая включает в себя закономерности, полученные на первом этапе.

Третий этап — оценка машинных результатов. Здесь устанавливается адекватность модели и объекта исследования, определяется степень сходства машинных и человеческих действий или результатов. Это единственный критерий совершенства нашего алгоритма, правильности принятых принципов моделирования и степени изученности объекта исследования. На этом этапе проверяются предположения о закономерностях объекта, о том, достаточно ли тех «знаний», которые заложены в машину (точнее — программу), для воспроизведения изучаемого объекта.

Основные задачи моделирования творчества заключаются прежде всего в том, чтобы выявить и формализовать те закономерности творчества, которые человек использует неосознанно, интуитивно.

*Одним из методов исследования закономерностей мышления и восприятия в психологии является варьирование ситуаций.* Варьирование первоначальной ситуации (темы) заключается в том, чтобы некоторые ее элементы видоизменить, а другие оставить неизменными. При соответствующем восприятии темы

и вариации обнаруживается, что неизменные элементы (инварианты преобразования) способствуют впечатлению их общности или сходства, а видоизмененные (трансформанты) — отдалению вариации от темы, как бы маскируя наличие в них инвариантов.

Определенная совокупность инвариантов образует инвариантную структуру, которая является носителем некоторого образа. Такая структура не раскладывается на составляющие ее части, ибо, будучи разложенной, она теряет свое свойство быть носителем образа. Несводимость структуры к элементам, или ее неразложимость на части, выражается в возможности транспонирования (или переноса) одной и той же структуры на различное содержание. Транспонируемость, таким образом, является фундаментальным свойством структуры.

Перенос инвариантной структуры — это общее, одно из наиболее важных и основных свойств мышления и восприятия, проявляющееся в разных областях продуктивной деятельности человека. Вследствие этого выявление закономерностей переноса инвариантных структур из одних условий в другие является важной проблемой искусственного интеллекта. Создание машинной программы, выполняющей подобные преобразования необходимо для осознания механизма переноса, проявляющегося в интеллектуальной деятельности человека неосознанно. Такая программа может служить конструктивным материалом для иллюстрации общих закономерностей творчества, проявляющихся в объектах разной природы.

Проблема выявления общих закономерностей творчества мышления, в частности проблема транспонирования, может быть изучена на разных объектах. Благоприятным материалом для таких исследований служит музыка, точнее — сочинение мелодий. В музыке особенно ощутимо проявляется интуитивная деятельность — как при сочинении (подражание, перенос музыкальных идей, структур или просто мелодий или их частей), так и при ее прослушивании (узнавание, распознавание музыкальных образов). Даже любители музыки часто сочиняют «правильные» мелодии, не зная ни музыкальной грамоты, ни правил построения музыкальных сочинений — по интуиции, основанной на опыте, который также неосознанно приобретает при прослушивании музыки. Именно здесь и проявляется перенос инвариантных музыкальных структур.

Перенос инвариантных элементов проявляется в различных приемах вариационного развития исходной мелодии — темы и способствует тому, что при восприятии на слух в вариации сохраняется впечатление темы, ощущается постоянная связь с ней. Это происходит несмотря на изменение различных компонентов музыкального сочинения — музыкального размера (метра), ритма, ладотональности и даже самой мелодии.

Простейшим примером варьирования мелодии является ее исполнение в другой тональности — при переносе мелодии на несколько тонов выше или ниже первоначальной. И хотя при этом получается совсем другая последовательность звуков, мы неизменно слышим ту же самую — первоначальную мелодию. Секрет в том, что эти разные последовательности звуков объединяет их общее качество, важное для восприятия на слух — у них одна и та же последовательность звуковысотных интервалов между соседними звуками. Она неизменна или инвариантна при исполнении мелодии на разных инструментах, в разных темпах, в разных регистрах.

Однако один лишь этот инвариант не обеспечивает сходства мелодий. Можно привести примеры мелодий с одинаковой мелодической линией и разными ритмами, которые на слух воспринимаются различными, хотя визуально — по нотной записи — видно их сходство между собой. А, например, мелодии русской народной песни «По Дону гуляет казак молодой» и песни И. О. Дунаевского «Молодежная» — совершенно разные по характеру, с разными звуковысотными линиями, метром, ритмом. Но совпадение определенных звуков способствует впечатлению их сходства. Удивительно, как некоторые слушатели «Молодежной» сразу же узнают мелодию «По Дону». Здесь выясняется, что носителем образа мелодии служит не отдельный инвариант, а инвариантная структура, которая в нашем примере состоит из двух инвариантов — последовательности интервалов и ритма. Более того, важно, чтобы отдельные высоты или мелодические фигуры соответствовали длительностям ритма, расположенным на определенных долях такта — метрическим акцентам. Если же эту структуру разложить на составляющие ее части — ритм и последовательность интервалов, то взятая в отдельности каждая часть, являясь инвариантом, может и не быть носителем первоначального образа, что и показывают рассмотренные примеры.

Несмотря на сохранение инвариантной структуры в вариации не так-то просто бывает узнать тему. Этому мешают темповые элементы, которые вносятся при трансформации темы. Оказывая маскирующее действие, они меняют тему часто до неузнаваемости. Исследование зависимости степени близости вариации и темы как от различных маскирующих элементов, так и от инвариантов представляет несомненный интерес.

Варьирование мелодий связано с музыковедческой проблемой заимствования музыкальных тем — известных ранее мелодий — в творчестве профессиональных композиторов. Заимствование и последующая творческая обработка музыкальных тем, отражающая стилевые черты композитора, не является предосудительным — многие композиторы сознательно использовали в своих сочинениях известные мелодии. Однако такое заимствование может быть и неосознанным. Наиболее яркий пример

такого рода — сочинение П. И. Чайковским темы «рококо» для своих виолончельных вариаций. Любопытно, что ни исследователи творчества П. И. Чайковского, ни сам композитор нигде не сообщают, что тема «рококо» имеет прототип — мелодию русской народной песни «Вдоль по Питерской», хотя наиболее известный случай такого заимствования многократно описывается в музыковедческой литературе. В том, что тема «рококо» возникла из мелодии этой песни, можно убедиться при визуальном сравнении их нотных записей (см. [1]): при этом видны совпадение высот нот и метрических акцентов, расположенные последовательно на всем протяжении мелодий. Но то, что видно глазу, не всегда слышит ухо — при прослушивании не легко уловить сходство этих мелодий.

Подобное заимствование исходных тем с последующей творческой обработкой — варьированием темы (или иначе — перенос инвариантных элементов в новые условия) наблюдается не только в музыке, но и в других видах художественного творчества. Оно встречается как в виде наиболее легко опознаваемого прямого использования «цитат», так и в более или менее замаскированном, «творчески обработанном» виде. Такое заимствование настолько широко распространено во всех видах художественного творчества (и, по-видимому, не только художественного), что варьирование заимствованных элементов можно считать одним из общих принципов художественного творчества, не всегда осознаваемым в процессе творчества.

*Рассмотрим метод моделирования*, основанный на программировании правил и закономерностей композиции, которые удалось выявить при изучении человеческого творчества и сформулировать в виде процедур. В опытах разных авторов этим методом синтезируется одnogолосная и многоголосная, тональная и атональная музыка [2]. Далее будут описаны принципы, использованные автором при моделировании функций композитора и музыковеда на ЭВМ [2].

Любой объект характеризуется некоторым набором параметров  $P_1, P_2, \dots, P_k, \dots$ , отражающих закономерности объекта. Каждый параметр  $P_k$  принимает по нескольку значений —  $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_n}, \dots$ . Значение параметра — это определенное число или числовая структура, конкретный закон распределения частот некоторого элемента объекта и т. п. — из множества допустимых в программе. Под типом объекта понимается его качественная характеристика — определенный признак, особенность или отличительная черта, присущие некоторой совокупности отдельных экземпляров объекта исследования. При анализе объектов какого-нибудь типа обнаруживается, что не все параметры характеризуют его в одинаковой мере. Один параметр будет в большинстве экземпляров объекта принимать лишь одно «существенное» значение (существенный параметр). Дру

той же параметр в разных экземплярах объекта одного типа принимает различные значения (несущественный параметр).

Пусть теперь  $M = M(P_1, P_2, \dots, P_k, \dots)$  — упорядоченный набор всевозможных параметров  $P_k$ . Для каждого параметра  $P_k$  задано определенное множество  $(P_{k1}, P_{k2}, \dots, P_{ke}, \dots)$  значений его.

Моделирование типа композиций основано на предположении, что любой тип  $T_c$  композиций характеризуется определенным набором значений параметров  $M_c = M(P_{1ac}, P_{2ac}, \dots, P_{kec}, \dots)$ , где  $P_{kec}$  — определенное значение параметра  $P_k$  из множества допустимых; причем, если  $P_k$  — несуществен для типа  $T_c$ , то на его месте в наборе  $M_c$  стоит специальный символ  $N$  — признак несущественного параметра.

Это означает, что для всех композиций одного и того же типа  $T_c$  существенный параметр фиксирован — он принимает только одно значение, указанное в наборе  $M_c$ . Параметр же несущественный для типа  $T_c$  (отмеченный символом  $N$ ) может принимать для разных композиций этого типа различные значения. При таком способе соответствия каждому типу  $T_c$  композиций отвечает некоторая типовая структура, определенная набором  $M_c$  существенных значений параметров. Таким образом, качественной или субъективной характеристике композиций (тип  $T_c$ ) ставится в соответствие формально-количественная характеристика (набор значений параметров  $M_c$ ).

Покажем теперь, как набор  $M_c$  связан с программой, моделирующей определенный тип композиций  $T_c$ . Программа включает в себя определенное множество значений параметров — формализованных закономерностей и средств композиций. Набор же  $M_c$  указывает (перечисляет) лишь некоторое подмножество этого множества, так как для каждого параметра указано лишь одно его значение. Набор  $M_c$  в виде последовательности чисел — кодов значений параметров — засылается в определенные ячейки машинной памяти. Этим машине указывается перечень закономерностей, которым должна удовлетворять текущая композиция. Для несущественных параметров значения выбираются случайным образом из предусмотренных в программе.

Таким образом, в процессе синтезирования композиции каждый раз участвуют не все запрограммированные закономерности, а лишь их некоторая часть, указанная в наборе  $M_c$ . Эти наборы можно составлять по-разному, откуда следует, что по одной и той же программе можно синтезировать композиции разных типов.

Вместе с полученной композицией печатается и перечень закономерностей, которые участвовали в ее синтезировании. Композиции разных типов вызывают, вообще говоря, у слушателей разное эмоциональное состояние. Описанный метод моделирования, ставящий в соответствие определенному типу ком-

позиций отвечающий ему набор закономерностей, то есть структуру этого типа, позволяет принципиально решить важную проблему искусствоведения и психологии восприятия — найти зависимость между структурой музыки и ее воздействием на эмоциональное состояние слушателя.

*Описанные выше принципы алгоритмизации* были использованы, в частности, при моделировании мелодических вариаций (краткое описание алгоритмов приводится в [1, 3]). Для этого в машину вводится мелодия-тема, предназначенная для варьирования, и (по желанию) указываются признаки искомой вариации, которые включаются в набор значений параметров  $M_c$ . Машинное варьирование позволяет восстановить процесс порождения данной композиции — шаг за шагом проследить весь путь преобразования темы в вариацию, показать, как деформируется ритм, как одна нота переходит в другую — то есть показать промежуточные результаты преобразования. Это показано (см. [4]) на примере преобразования машиной БЭСМ-6 темы (мелодия песни «По Дону гуляет казак молодой») в искомую вариацию (мелодия песни «Молодежная» И. О. Дунаевского). Было получено несколько вариантов этой вариации, один из которых в точности совпал с мелодией Дунаевского (за исключением первой ноты последнего такта).

Синтезирование на машине мелодии Дунаевского подтвердило наши предположения о характере ее связей с темой, о способе преобразования темы в эту мелодию, а также о механизме порождения мелодий с синтаксической структурой масовых песен. Ведь только благодаря этому и могла получиться машинная мелодия, совпадающая с заранее известной. Примеры машинных вариаций известных мелодий приводятся, например, в [4, 5].

Машинное варьирование мелодий связано с решением проблемы идентификации — практически важной проблемы в фольклористике для построения каталога музыкальных тем и их разновидностей.

*В опытах зарубежных авторов* применяется и другой метод моделирования мелодий традиционного типа, принципиально отличный от описанного выше. К. Шенноном была предложена простая модель для нотного текста, отражающая его статистическую структуру — он предложил моделировать новый текст в виде стационарной цепи Маркова. Однако любая модель какого-либо явления характерна тем, что она не отражает адекватно всех его свойств. Так и модель нотного текста, пригодная для исследования его статистических свойств, может быть неудовлетворительна для представления ее, например, в качестве музыкального сочинения, которое должно (кроме статистических) обладать и другими характеристиками, свойственными первоначальному нотному тексту. Именно так и случилось с машинными моделями нотного текста, полученными методом

марковских цепей (см. книгу [2]). Авторы работ, упомянутых в [2], которых привлекает простота и кажущаяся универсальность метода, уверяют, что такой способ пригоден для «успешного моделирования стиля любого композитора». По-видимому, в этих экспериментах отсутствовал необходимый для моделирования этап оценки машинных результатов, поскольку на самом деле этот метод не дает и не может дать хороших результатов. Последнее особенно заметно при слуховом (а не визуальном) восприятии и сравнении мелодий-оригиналов и машинных. Причины этого заключаются в следующем.

Прежде всего, мелодия традиционного типа не является цепью Маркова. В мелодии практически взаимосвязаны все ноты — они подчинены определенной логике развития. Метод Маркова предполагает лишь локальную взаимосвязь нескольких (в большинстве экспериментов — трех-четырёх соседних) звуков мелодии. Кроме того, процесс сочинения мелодии этим способом сводится к получению последовательности высот, совершенно не зависящей от ритма, который вводится в машину заранее или вообще не вводится. И несмотря на то, что при этом довольно длинные последовательности высот (до 15 и больше нот подряд в некоторых экспериментах) переносятся без изменения из мелодий-оригиналов в мелодии-модели, при прослушивании этих мелодий заметно отсутствие их сходства. Причина этого уже была выяснена при рассмотрении явления переноса: один инвариант (такой, как последовательность высот или интервалов) не образует инвариантной структуры, т. е. он не является носителем образа мелодий-оригиналов и не обеспечивает их сходства с синтезированными мелодиями при слуховом восприятии. Это относится не только к целой мелодии, но и к любым ее фрагментам.

Заметим еще, что метод Маркова (в отличие от метода моделирования, описанного выше) не выявляет закономерности строения композиций, различные специфические стороны музыки и связь между ними. А это обстоятельство является наиболее важным как для теоретического музыковедения, так и для осознания «скрытых» закономерностей объекта моделирования.

**Список литературы:** 1. *Заринов Р.* Моделирование транспозиции инвариантных отношений и музыкальных вариаций на вычислительной машине. — *Kybernetika*. Praha, 1973, v. 9, № 5, S. 400—421. 2. *Заринов Р. Х.* Кибернетика и музыка. М., Наука, 1971. 235 с. 3. *Заринов Р. Х.* Об алгоритмизации музыкальных вариаций. — Доклады Академии наук СССР, 1973, т. 211, № 3, с. 551—554. 4. *Заринов Р. Х.* Моделирование на ЭВМ элементов творчества (на материале музыки). Предварительная публикация. М., Издание Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, 1977. 5. Управление, информация, интеллект / Под ред. А. И. Берга и др. М., Мысль, 1976. 383 с.

*Поступила 22 ноября 1978 года*

## ЯЗЫКОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМ

Широкое внедрение ЭВМ в производство приводит к появлению управляющих комплексов, известных в настоящее время как системы человек — машина, в которых управляемый объект совместно с оператором образуют замкнутую эргатическую систему. Эффективность последней в значительной степени зависит от того, насколько успешно решена задача организации взаимодействия человека-оператора с ЭВМ. Одним из наиболее существенных препятствий на этом пути в настоящее время является принципиальное различие между языками человека и ЭВМ. Это приводит к необходимости создания языковых средств для реализации взаимодействия. Рассмотрим возможный подход к решению данной задачи.

Для удобства дальнейшего изложения определим более точно, в чем заключается процесс взаимодействия человека-оператора с ЭВМ.

Пусть  $S(A, R, t)$  — модель ситуации, отображающая состояние некоторого множества элементов системы и внешней среды в момент времени  $t$ , где  $A$  — понятия, отображающие множество элементов;  $R$  — множество отношений на  $A$ ;  $t$  — момент времени.

В дальнейшем нас будут интересовать ситуации, в которых необходимо осуществлять взаимодействие. Выделение множества таких ситуаций может быть выполнено на этапе распределения функций между операторами АСУ и ЭВМ. Допустим, начало взаимодействия характеризуется ситуацией  $S(A, R, t)$ . Естественно считать, что в процессе взаимодействия преследуется некоторая цель. Сопоставим достижению этой цели возникновение ситуации  $S'(A', R', t')$  при  $t' > t$  и пусть далее  $T$  — некоторый текст на языке взаимодействия, указывающий на необходимость преобразования  $S(A, R, t)$  в  $S'(A', R', t')$ . Тогда процесс взаимодействия представляет собой преобразование  $S(A, R, t) \xrightarrow{T} S'(A', R', t')$  под воздействием  $T$ . Множество текстов, необходимых для общения человека и ЭВМ во всевозможных ситуациях, определит язык взаимодействия.

Представим  $S = S' \cup S''$ , где  $S' = \{S'_i\}$ ,  $S'' = \{S''_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  — множества ситуаций, характеризующих начало и конец взаимодействия соответственно. И пусть далее  $T_i$  преобразует  $S'_i \xrightarrow{T_i} S''_i$ , тогда язык взаимодействия  $L$  есть  $L = \bigcup_{i=1}^n T_i$ .

Структура каждого  $T_i$  должна быть задана некоторым формальным образом, например с помощью грамматики. Фор-

гальная грамматика задает синтаксис языка, однако у языка есть еще и другой аспект — семантика. В этой связи в процессе реализации взаимодействия можно выделить два этапа.

Первый связан с необходимостью создания транслятора текстов взаимодействия на некоторый формальный язык  $L'$  и обратно. Второй — с созданием процедуры, позволяющей ЭВМ «понять» выражения  $L'$ . В дальнейшем рассмотрим реализацию второго этапа на примере вопросно-ответной системы (ВОС), которая по запросу оператора выдает информацию о некоторых фактах. Подобные системы являются неотъемлемой составной частью большинства АСУ промышленностью, транспортом и т. п. Для определенности предположим, что ВОС хранит сведения о промышленных предприятиях. Ограничим класс текстов, вводимых оператором, простыми вопросительными предложениями. Возможными вопросами системе могут быть, например, следующие: 1) какие предприятия выпускают станки марки М?; 2) сколько предприятий выпускает станки марки М?; 3) выпускают ли предприятия станки марки М? и т. п.

Нетрудно заметить, что для получения ответа на поставленные вопросы необходимо в первую очередь проверить истинность некоторого предиката, например, истинно или ложно предложение: Выпускает (предприятие, станок марки М). Далее, в зависимости от вопросительного слова, (какой, сколько и т. д.) может быть получен тот или иной ответ. Приведем слова, которые используются в качестве вопросительных в русском языке, и их возможное толкование в текстах рассматриваемого типа. Слово КАКОЙ требует указать перечень предметов, обладающих определенным свойством, находящихся в некотором отношении; КТО, ЧТО — какое существо, какой предмет; СКОЛЬКО — количество предметов; КОГДА — время появления факта; ГДЕ, КУДА, ОТКУДА — в каком месте, в какое место, из какого места. Слово КАК употребляется в вопросительных предложениях русского языка в значениях: каким образом, как сделать. Подобный вопрос требует указать перечень действий, необходимых для достижения определенной цели. Вопросы со словами ПОЧЕМУ, ЗАЧЕМ требуют указать причину выполнения действия. Очевидно, вопросы со словами КАК, ПОЧЕМУ, ЗАЧЕМ вряд ли могут использоваться в системах рассматриваемого типа. Таким образом, в зависимости от семантики предметов, предиката, наличия или отсутствия вопросительного слова, его типа смысл вопроса будет различен.

Учитывая вышесказанное, выберем в качестве основы языка  $L'$  — язык исчисления предикатов первого порядка с множеством предметных областей, расширив его операторами, позволяющими учитывать наличие вопросительного слова и его тип. Поиск ответа в этом случае заключается в проверке формулы вопроса на истинность на всех возможных наборах значений переменных.

Зададим модель внешней среды набором конкретных значений переменных и отношениями между ними, выраженными первичными предикатами, которые принимают значение TRUE или FALSE в зависимости от того, выполняются соотношения между конкретными значениями аргументов или нет.

Данная ВОС позволяет обрабатывать вопросы, в которых использованы явные определения. В последних смысл определяемого термина полностью передается через определяющие

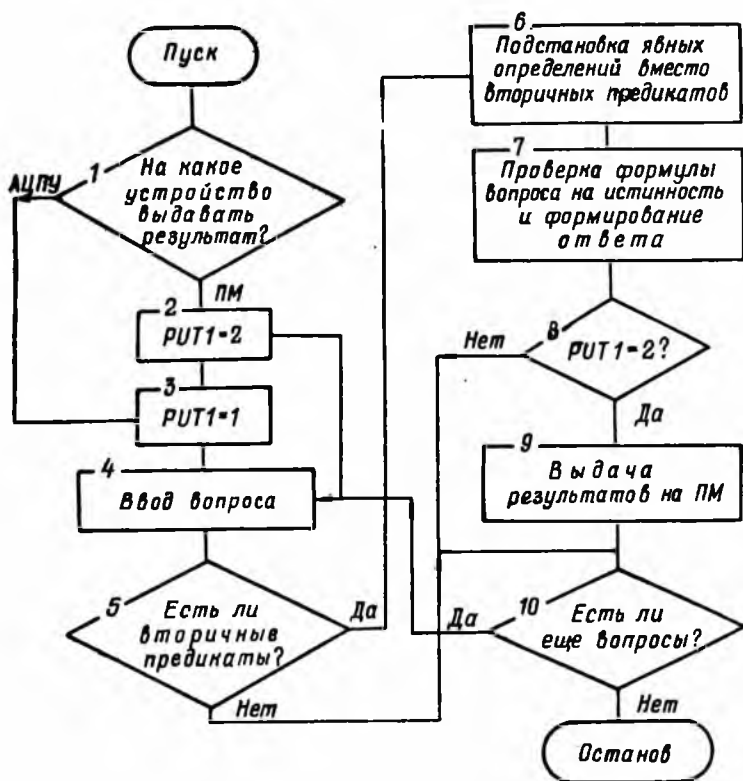


Рис. 1

термины [1]. В данном случае определяемым термином является вторичный предикат, а в качестве определяющих — первичные предикаты, уже известные системе. Применение явных определений дает возможность компактно и просто формировать более сложные отношения при помощи базовых, представленных первичными предикатами. Практически это приводит к тому, что если системе известны все базовые отношения, которые возможны между индивидуумами предметной области, то при помощи явных определений можно найти отношения про-

изводные от базовых. Это значительно упрощает построение конкретной ВОС, делает более гибким и естественным диалог между оператором и системой.

Данная ВОС (рис. 1) предполагает работу в режиме обработки серии вопросов, вводимых с перфокарт, и выдачи ответов на АЦПУ и в диалоговом режиме, когда оператор вводит вопрос с пишущей машинки (ПМ). ВОС выдает ответ тоже на ПМ и ждет дальнейших указаний оператора. Выбор режима работы системы осуществляется в блоках 1—3. В блоках 5 и 6 подставляются в исходное выражение вместо вторичных предикатов их определения через первичные. Например, пусть  $P11(b1, b2, b3) = P1(b2, b3) \vee P3(b1, b2) \vee P4(b3, b1)$ , где вторичный предикат  $P11$  (в левой части) выражен через первичные  $P1, P3$  и  $P4$ . На первый взгляд задача кажется очень простой — найти место вторичного предиката в формуле вопроса и подставить его определение, выраженное через первичные предикаты. Однако задача усложняется из-за необходимости правильной подстановки аргументов вторичных предикатов в качестве аргументов первичных. Этим обстоятельством и определяется содержание блоков 5 и 6. Процесс подстановки описан блок-схемой, представленной на рис. 2.

Поиск ответа на вопрос осуществляется в блоке 7, программно реализованном в виде отдельной процедуры QUEST, которая предназначена для определения истинности формулы вопроса на всех наборах значений переменных, указанных в его префиксе, и является ядром рассматриваемой ВОС. Круг вопросов, на которые процедура ищет ответ, описан в нормальной форме Бэкуса:

$$\left[ \left\{ \begin{array}{l} \text{Н.М} \\ \text{WHAT}(N) \end{array} \right\} \left[ (\text{переменная } [, \text{ переменная}] \dots) \right] \right] \text{ППФ}; \quad (1)$$

$N ::= \text{целое число}; \text{ ППФ} ::=$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{имя предиката (терм } [, \text{ терм}] \dots) \\ \text{выражение } A \text{ [выражение } A] \dots \text{ ППФ} \\ \sim \text{ППФ} \\ \text{ППФ} \oplus \text{ППФ} \end{array} \right\}; \quad \oplus ::= \rightarrow | \vee | \&;$$

выражение  $A ::=$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{EXIST (переменная } [=N1\dots][\dots\text{переменная } [=N1\dots]\dots\dots) \\ \text{ALL (переменная } [=N1\dots][\dots\text{переменная } [=N1\dots]\dots\dots) \end{array} \right\}$$

$N1 ::= \text{десятичная константа}$ . Здесь ALL, EXIST — кванторы: ДЛЯ ВСЕХ ( $\forall$ ) и СУЩЕСТВУЕТ ( $\exists$ ) на языке исчисления предикатов первого порядка; Н. М., WHAT — соответствуют словам: сколько, какой. Нетрудно заметить, что вопросы, аналогичные 1—3 на с. 17, легко могут быть выражены в форме (1).

Алгоритм, осуществляющий поиск ответа на вопрос, представлен на рис. 3. Процесс формирования ответа включает

2 этапа: анализ вопроса, синтез и выполнение программы проверки истинности формулы вопроса.

На первом этапе анализируется тип вопроса, который определяется комбинацией слов Н.М. и WHAT, префикс формулы вопроса, признаки связи переменных каждым заданным типом квантора. Алгоритм анализа вопроса приведен на рис. 4. Всего различается 7 типов вопроса (блоки 1—9):

$TB2=0$  — вопрос общий (отсутствуют слова Н.М. и WHAT требующий ответ в зависимости от типа квантора, который стои

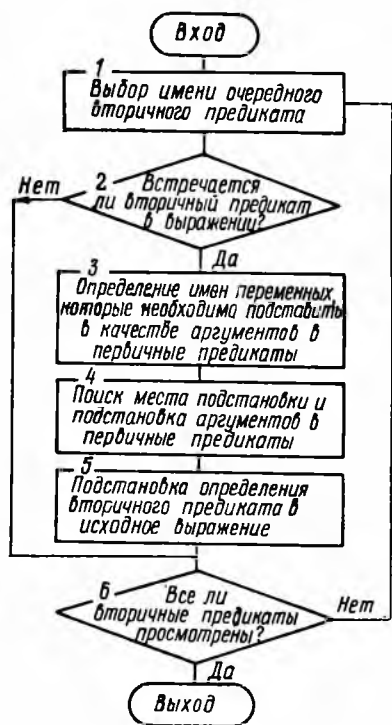


Рис. 2

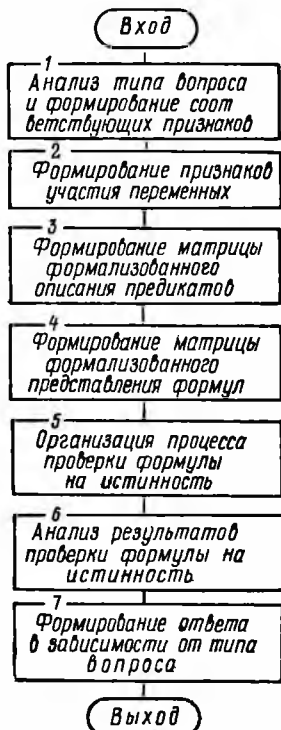


Рис. 3

первым в префиксе вопроса: ДА, ДЛЯ ВСЕХ; ДА, СУЩЕСТВУЕТ; НЕТ, НЕ ДЛЯ ВСЕХ; НЕТ, НЕ СУЩЕСТВУЕТ.

$TB2=1$ ,  $TB2=2$ ,  $TB2=3$  — вопросы конкретные требующие определения: 1 — всех наборов значений переменных, 2 — только первых  $N$ , 3 — количества наборов значений переменных, на которых истинна матрица вопроса.

$TB2=4$ ,  $TB2=5$ ,  $TB2=6$  — вопросы конкретные, требующие поиска таких же ответов, что и  $TB2=1$ ,  $TB2=2$  и  $TB2=3$  соответственно, но для тех переменных, которые заданы списком, следующим за словами Н. М. и WHAT.

Признаки чередования кванторов и связи переменная — квантор формируются в блоке 10 и заносятся в массив КЕ. Если переменная связана квантором ALL, то соответствующий элемент массива КЕ полагается равным 1, в противном случае — 2. Очередность кванторов также фиксируется в массиве КЕ в виде порядкового номера вхождения определенной переменной в префикс вопроса.

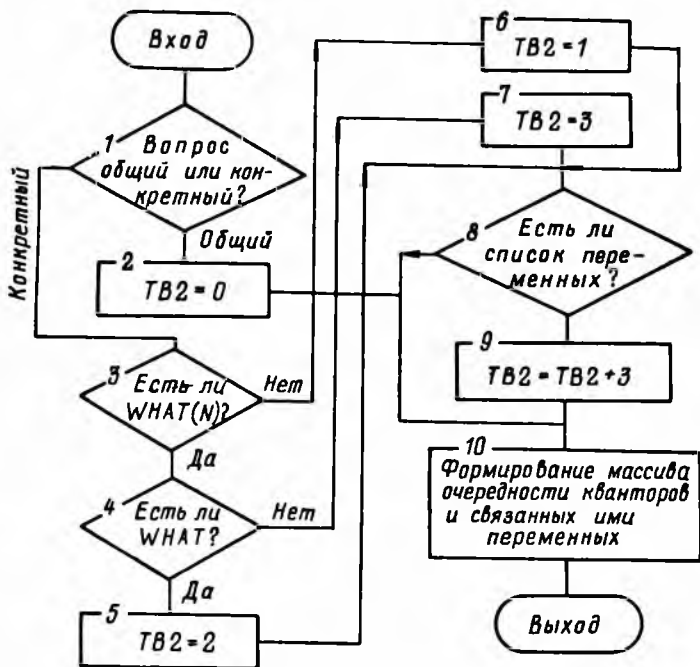


Рис. 4

Все предикаты, составляющие формулу вопроса, описываются матрицей ОР, в которой каждому из них отвечает строка (рис. 3, блок 3) с первым элементом в виде номера предиката по списку первичных предикатов; остальные элементы строки матрицы — номера переменных по списку.

Формула вопроса представляется матрицей SH (рис. 3, блок 4), элементами которой являются номера предикатов, совпадающие с номерами строк матрицы ОР. Матрица формируется таким образом, что если между элементами строк поставить знак V, а строки объединить знаками &, заменив при этом номера предикатов их именами, то получится исходная формула, подлежащая проверке. Такое представление упрощает выбор очередного предиката при проверке истинности матрицы вопроса.

На этапе синтеза и выполнения программы проверки истинности формулы вопроса (рис. 3, блоки 5, 6) алгоритмом предусмотрено использование следующих эвристических приемов.

1. Если при проверке истинности значение дизъюнкта формулы вопроса есть FALSE, то всей формуле присваивается значение FALSE и дальнейшая проверка прекращается.

2. Если один из членов проверяемого дизъюнкта имеет значение TRUE, то всему дизъюнкту присваивается значение TRUE и дальнейшая проверка его истинности прекращается.

3. Для каждого набора значений переменных любой первичный предикат, входящий в формулу, проверяется на истинность не более одного раза. При очередном его вхождении в формулу используется ранее найденное значение его истинности для данного набора значений переменных.

4. Для каждого нового набора значений переменных находится значение истинности только тех предикатов, аргументы которых изменили свое значение. Значения истинности других принимаются равными ранее найденным.

Логика проверки матрицы вопроса на истинность определяется его префиксом. Наборы значений переменных формируются таким образом, что чаще всех изменяются значения, связанные самым внутренним квантором. Для каждого нового значения переменной, связанной внешним квантором, формируются все возможные наборы значений, связанных внутренними кванторами.

Выдача ответа на вопрос формируется в блоках 8 и 9 (рис. 1).

Рассмотренные в статье процедуры программно реализованы на языке PL/1 и экспериментальная проверка их работы была осуществлена на ЭВМ ЕС-1022. При этом объем оперативной памяти составил 80 К байт.

Список литературы: 1. Корнел Попа. Теория определения. М., Прогресс 1976. 247 с. 2. Хант Э. Искусственный интеллект. М., Мир, 1978. 558 с.

*Поступила 15 июля 1978 год.*

УДК 519.766.2

*Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, д-р техн. наук,  
М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук,  
В. М. БОНДАРЕВ, З. Ю. ШАБАНОВА-КУШНАРЕНКО*

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СКЛОНЕНИЯ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ**

В статье средствами теории интеллекта [1] математически описывается процесс склонения полных непряжательных русских имен прилагательных, рассматриваемый как одно из звень-

эв более общего процесса словоизменения. Можно предположить, что в основе словоизменения лежит некоторая функция  $Z = F(X, Y)$  зависимости формы  $Z$  от слова  $X$ , образующего ее, и от текста  $Y$ , в который входит форма  $Z$ . Например, текст *Ветки чуть покачивались от... ветра* и слово *свежий* однозначно определяют форму *свежего*, замещающую в этом тексте многоточие.

Склонение полных непряжательных имен прилагательных сводится к формированию трехбуквенного окончания  $z = z_1z_2z_3$  формы слова  $X$  в зависимости от набора грамматических признаков. Символы  $z_1, z_2, z_3$  обозначают соответственно первую, вторую и третью букву окончания. В случае отсутствия третьей буквы считаем  $z_3 = \square$ , где  $\square$  — знак пробела. Например, слову *синий* и грамматическим признакам *винительный падеж, женский род, единственное число* соответствует окончание «юю  $\square$ », которым обладает форма *синюю*.

Влияние слова  $X$  на окончание  $z$  может быть однозначно характеризовано набором признаков  $x = (x_1, x_2)$ . Здесь  $x_1$  — признак последней буквы основы слова со значениями *б, в, г, д, е, ж, з, к, л, н', н'', п, р, с, т, у, ф, х, ц, ч, ш, щ*, где знак *'* означает мягкое *н* (например, *синий*), знак *''* — твердое *н* (*зеленый*);  $x_2$  — признак ударности основы со значениями *у* — ударный (например, *синий*), *б* — безударный (*лесной*).

Влияние текста  $Y$  на окончание  $z$  может быть однозначно характеризовано набором признаков  $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$ , где  $y_1$  — падеж со значениями *и* — *именительный*, *р* — *родительный*, *д* — *дательный*, *в* — *винительный*, *т* — *творительный*, *п* — *предложный*;  $y_2$  — род со значениями *м* — *мужской*, *ж* — *женский*, *с* — *средний*;  $y_3$  — число со значением *е* — *единственное*, *м* — *множественное*;  $y_4$  — признак одушевленности со значениями *н* — *неодушевленный*, *о* — *одушевленный*;  $y_5$  — признак современности со значением *а* — *архаичный* (например, *синюю*), *с* — *современный* (*синей*).

Функция  $z = f(x, y)$  зависимости окончания  $z$  от наборов признаков  $x$  и  $y$  однозначно описывается следующими системами условий [2] для первой буквы окончания:

$$\begin{aligned}
 &(x_1^ж \vee x_1^ч \vee x_1^ш \vee x_1^щ) x_2^у \supset z_1^а \vee z_1^е \vee z_1^н \vee z_1^й, \quad x_1^п \supset z_1^а \vee z_1^е \vee \\
 &\quad \vee z_1^у \vee z_1^м; \quad (x_1^ж \vee x_1^ш) x_2^б \vee x_1^г \vee x_1^к \supset z_1^а \vee z_1^н \vee z_1^о \vee z_1^й; \\
 &x_1^б \vee x_1^в \vee x_1^д \vee x_1^з \vee x_1^л \vee x_1^{н'} \vee x_1^{н''} \vee x_1^п \vee x_1^р \vee x_1^с \vee x_1^т \vee x_1^ф \supset z_1^а \vee \\
 &\quad \vee z_1^о \vee z_1^у \vee z_1^м; \quad (x_1^е \vee x_1^{н'}) \vee x_1^у) x_2^у \supset z_1^е \vee z_1^н \vee z_1^о \vee z_1^й; \quad (1) \\
 &y_1^и y_2^ж y_3^е \supset z_1^а \vee z_1^й; \quad ((y_1^и \vee y_1^и y_4^н) y_2^м x_3^у \vee y_1^т (y_2^м \vee y_2^с)) y_3^е \vee \\
 &\quad \vee y_3^м \supset z_1^н \vee z_1^м; \quad (y_1^р \vee y_1^д \vee y_1^п \vee (y_1^и \vee y_1^и) y_2^с \vee y_1^в y_2^м y_4^о \vee \\
 &\quad \vee y_1^т y_2^ж \vee (y_1^и \vee y_1^и) y_2^м x_2^б) y_3^е \supset z_1^е \vee z_1^о, \quad y_1^и y_2^ж y_3^е \supset z_1^у \vee z_1^й;
 \end{aligned}$$

для второй буквы окончания:

$$\begin{aligned} & (y_1^p (y_2^m \vee y_2^c) \vee y_1^b y_2^m y_4^o) y_3^e \supset z_2^f; \quad (y_1^n \vee y_1^b) y_2^m y_3^e \vee \\ & \vee (y_1^n \vee y_1^b y_4^h) y_3^m \supset z_2^e; \quad ((y_1^n \vee y_1^b y_4^h) y_2^m \vee (y_1^p \vee y_1^d \vee \\ & \vee y_1^t y_5^c \vee y_1^n) y_2^j) y_3^e \supset z_2^h; \quad (y_1^d \vee y_1^t \vee y_1^n) (y_2^m \vee \\ & \vee y_2^c) y_3^e \vee (y_1^d \vee y_1^t) y_3^m \supset z_2^m; \quad (y_1^p \vee y_1^b y_4^o \vee y_1^n) y_3^m \supset \\ & \supset z_2^x; \quad (y_1^b \vee y_1^t y_5^e) y_2^j y_3^e \supset z_2^j; \quad y_1^b y_2^j y_3^e \vee z_2^j; \end{aligned} \quad (2)$$

для третьей буквы окончания:

$$\begin{aligned} & y_1^t y_3^m \supset z_3^h; \quad (y_1^p (y_2^m \vee y_2^c) \vee y_1^b y_2^m y_4^o) y_3^e \supset z_3^o; \quad y_1^d (y_2^m \vee \\ & \vee y_2^c) y_3^e \supset z_3^y; \quad y_1^n \vee y_1^p \vee y_1^t y_3^e \vee y_2^j \vee (y_1^p \vee y_1^d \vee y_1^b) y_3^m \vee \\ & \vee y_1^b (y_2^m y_4^h \vee y_2^c) y_3^e \supset z_2^h. \end{aligned} \quad (3)$$

Представим функцию  $z = f(x, y)$ , заданную на  $A \times B$  значениями на  $C$ , в виде  $z = \varphi(s, t)$ , где  $t = \eta(y)$ ,  $s = \xi(x)$ . Функции  $\xi, \eta, \varphi$  выберем для областей изменения переменных  $s$  и  $t$  с наименьшим возможным числом значений.

Функцию  $\xi$  строим следующим образом. Запишем систему  $P' = \{T_y'\} y \in B$  разбиений  $T_y'$  множества  $A$  таким образом, что  $T_y' = \{R_{yz}'\} z \in C$ ,  $R_{yz}' = \{x/x \in A \text{ и } z = f(x, y)\}$ . Каждому  $y \in B$  соответствует свое разбиение  $T_y'$  множества  $A$ . В разбиении  $T_y'$  определенному  $z \in C$  соответствует свой класс смежности  $R_{yz}'$ . Этому классу принадлежат все те значения  $x \in A$ , для которых  $z = f(x, y)$ . В результате наложения всех  $T_y'$  ( $y \in B$ ) получим разбиение  $Q'$  множества  $A$ , являющегося подразбиением каждого из  $T_y'$ . Любой из классов смежности разбиения  $Q'$  является пересечением определенного числа данных классов, взятых из различных разбиений.

Какой угодно класс смежности каждого  $T_y'$  может быть получен объединением некоторого числа классов смежности из  $Q'$ . Пронумеруем каким-либо образом все классы смежности разбиения  $Q'$  и примем множество номеров в качестве области значений функции  $s = \xi(x)$ . Значением  $s$  для функции  $\xi(x)$  принимаем номер того класса смежности, которому принадлежит элемент  $x$ .

Функцию  $\eta$  строим, формируя систему  $P'' = \{T_x''\} x \in A$  разбиений  $T_x''$  множества  $B$  так, что  $T_x'' = \{R_{xz}''\} z \in C$ ,  $R_{xz}'' = \{y/y \in B \text{ и } z = f(x, y)\}$ . Тогда каждому  $x \in A$  соответствует свое разбиение  $T_x''$  множества  $B$ . В  $T_x''$  любому  $z \in C$  соответствует свой класс смежности  $R_{xz}''$ . Этому классу принадлежат все те значения  $y \in B$ , для которых  $z = f(x, y)$ . Накладывая все разбиения  $T_x''$  ( $x \in A$ ), получим разбиение  $Q''$  множества  $B$ , являющееся подразбиением каждого из  $T_x''$ . Какой-либо из классов смежности разбиения

является пересечением некоторого числа классов, взятых из различных  $T_x$ . Любой класс смежности каждого разбиения  $T_x$  может быть получен объединением определенного числа классов из  $Q''$ . Пронумеруем все классы смежности разбиения  $Q''$  и примем множество всех номеров в качестве области значений функции  $t = \eta(y)$ . Значением  $t$  для функции  $\eta(y)$  принимаем номер того класса смежности, которому принадлежит элемент  $y$ .

Для построения функции  $z = \varphi(s, t)$  по заданным номерам  $s$  и  $t$  в соответствующих им классах смежности разбиений  $Q'$  и  $Q''$  произвольно выбираем элементы  $x$  и  $y$ . Значение  $z = f(x, y)$  принимаем в качестве значения функции  $\varphi$ . Можно показать, что построенная изложенным способом функция  $z = \varphi(\xi(x), \eta(y))$  совпадает с  $z = f(x, y)$ , а функции  $\xi$  и  $\eta$  имеют минимальные по мощности области значений.

Построим описанным выше способом функции  $\xi, \eta, \varphi$  для функции  $f$ , заданной системой условий (1)–(3). В результате  $= \xi(x)$  запишется как:

$$\begin{aligned} \alpha x_2^6 = s^1; (\beta \vee \gamma) x_2^6 = s^2; \alpha x_2^y = s^3; \beta x_2^y = s^4; \gamma x_2^y = s^5; \\ x_1^u x_2^y = s^6; (x_1^{u''} \vee x_1^e \vee x_1^y x_2^y) = s^7, \text{ где } \alpha = x_1^6 \vee x_1^8 \vee x_1^9 \vee \\ \vee x_1^3 \vee x_1^7 \vee x_1^m \vee x_1^{n'} \vee x_1^n \vee x_1^p \vee x_1^c \vee x_1^m \vee x_1^{\phi}; \beta = x_1^k \vee \\ \vee x_1^n \vee x_1^m \vee x_1^{\psi}; \gamma = x_1^2 \vee x_1^k \vee x_1^{\chi}. \end{aligned} \quad (4)$$

Функция  $t = \eta(y)$  принимает значение:

$$\begin{aligned} (y_1^u \vee y_1^b y_4^a) y_2^m y_3^e = t^1; (y_1^p \vee y_1^b y_4^a) y_2^m y_3^e = t^2; \\ y_1^u (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e = t^3; y_1^r (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e \vee y_1^r y_3^m = t^4; \\ y_1^n (y_2^m \vee y_2^c) y_3^e = t^5; y_1^u y_2^k y_3^e = t^6; (y_1^p \vee y_1^n \vee y_1^r \vee y_1^r y_3^e) \times \\ \times y_2^m y_3^e = t^7; y_1^b y_2^k y_3^e = t^8; y_1^r y_2^k y_3^e y_4^a = t^9; (y_1^u \vee y_1^b) y_2^m y_3^e = t^{10}; \\ (y_1^u \vee y_1^b y_4^a) y_3^m = t^{11}; (y_1^n \vee y_1^p \vee y_1^b y_4^a) y_3^m = t^{12}; y_1^r y_3^m = t^{13}. \end{aligned} \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) показывают, что слово влияет на окончания форм полных неприятяжательных имен прилагательных 7-ю различными способами, текст — 13-ю способами.

Функция  $z = \varphi(s, t)$  для первой буквы окончания:

$$\begin{aligned} (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^6) t^6 = z_1^a; (s^4 \vee s^6 \vee s^7) t^{10} = \\ = z_1^e; (s^2 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^7) (t^4 \vee t^{11} \vee t^{13}) = z_1^4; \\ (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^5) (t^2 \vee t^3 \vee t^5 \vee t^7 \vee t^9) \vee (s^1 \vee s^2) t^1 = \\ = z_1^o; (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^6) t^8 = z_1^y; \\ (s^3 \vee s^6) t^1 \vee (s^1 \vee s^3 \vee s^6) (t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{13}) = \\ = z_1^h; s^7 t^8 = z_1^o; s^7 t^6 = z_1^h; \end{aligned} \quad (6)$$

для второй буквы окончания:

$$t^2 = z_2^n; \quad t^{10} \vee t^{11} = z_2^e; \quad t^1 \vee t^7 = z_2^a; \quad t^3 \vee t^4 \vee t^5 \vee t^{13} = z_2^m; \\ t^{12} = z_2^x; \quad t^8 \vee t^9 = z_2^o; \quad t^6 = z_2^r;$$

для третьей буквы окончания:

$$t^{13} = z_3^n; \quad t^2 = z_3^o; \quad t^3 = z_3^y; \quad t^1 \vee t^4 \vee t^5 \vee t^6 \vee t^7 \vee t^8 \vee t^9 \vee \\ \vee t^{10} \vee t^{11} \vee t^{12} = z_3^n.$$

Аналогично можно описать склонение притяжательных им прилагательных, имен существительных, местоимений и числительных, спряжение глаголов. В виде иллюстрации этого утверждения приведем математическое описание процесса формирования стандартных окончаний имен существительных исходные данные для которого взяты из [3].

Для функции  $s = \xi(x)$  характерны:

$$x_1^r \vee x_1^k \vee x_1^f = s^1; \quad ax_2^6 = s^2; \quad ax_2^y = s^3; \quad x_1^u x_2^6 \vee \beta = s^4; \\ x_1^u x_2^y = s^5; \quad \gamma x_2^6 = s^6; \quad \gamma x_2^y = s^7; \quad (\delta \vee x_1^u) x_2^6 = s^8; \quad \delta x_2^y = \\ = s^9; \quad x_1^r x_2^y, \text{ где } \beta = x_1^{6r} \vee x_1^{ar} \vee x_1^{ar} \vee x_1^{3r} \vee x_1^{nr} \vee \\ \vee x_1^{m'} \vee x_1^{n'} \vee x_1^{n'} \vee x_1^{p'} \vee x_1^{f'} \vee x_1^{\phi'}; \quad \gamma = x_1^k \vee x_1^n \vee \\ \vee x_1^m \vee x_1^u; \quad \delta = x_1^a \vee x_1^6 \vee x_1^a \vee x_1^o \vee x_1^y \vee x_1^u \vee x_1^o \vee x_1^n.$$

Функция  $t = \eta(y)$  принимает значение:

$$(y_1^n \vee y_1^a y_1^n) y_2^m y_3^e = t^1; \quad (y_1^p y_2^c \vee y_1^a y_2^o) y_2^m y_3^e \vee \\ \vee y_1^p y_2^c y_3^e \vee y_1^n y_2^c y_3^m \vee y_1^n y_2^k y_3^e = t^2; \quad y_1^p y_2^a \vee y_1^n (y_2^m \vee \\ \vee y_2^c) \vee y_1^a y_2^k y_3^e = t^3; \quad (y_1^n \vee y_1^a) y_2^c y_3^e = t^4; \quad y_1^n y_2^c \vee \\ \vee y_1^a y_2^k y_3^e = t^5; \quad y_1^p y_2^k y_3^e \vee (y_1^n \vee y_1^a y_1^n) (y_2^m \vee \\ \vee y_2^k) y_3^m = t^6; \quad (y_1^p \vee y_1^a y_1^o) (y_2^k \vee y_2^c) y_3^m = t^7; \\ y_1^p y_2^m y_3^m = t^8; \quad y_1^a y_3^m = t^9; \quad y_1^n y_3^m = t^{10}; \\ y_1^p y_2^k y_3^a y_5^e = t^{11}; \quad y_1^r (y_2^m \vee y_2^k) y_3^o = t^{12}; \\ y_1^r y_3^m = t^{13}; \quad y_1^r y_2^k y_3^a y_5^e = t^{14}.$$

Функция  $z = \varphi(s, t)$  для первой буквы окончания:

$$(s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) (t^2 \vee t^9 \vee t^{10} \vee t^{13}) = z_1^a; \\ (s^3 \vee s^5 \vee s^7 \vee s^9 \vee s^{10}) (t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{14}) \vee (s^2 \vee s^3 \vee \\ \vee s^4 \vee s^6 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^9 \vee s^{10}) t^8 \vee (s^2 \vee s^6) t^7 \vee (s^1 \vee s^2 \vee \\ \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9) t^5 = z_1^e; \quad s^{10} t^5 \vee (s^1 \vee s^2 \vee \\ \vee s^3 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10}) t^6 = z_1^n, \quad (s^6 \vee s^8) (t^4 \vee t^{11} \vee$$

$$\begin{aligned}
& \vee t^{12} \vee t^{14}) \vee s^8 t^8 = z_1^e; (s^1 \vee s^2 \vee s^4)(t^4 \vee t^{11} \vee t^{12} \vee \\
& \vee t^{14}) \vee (s^1 \vee s^4) t^8 = z_1^0; (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) t^3 = \\
& = z_1^y, (s^4 \vee s^5) t^6 = z_1^w; (s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10}) t^{13} = \\
& = z_1^o; (s^8 \vee s^9 \vee s^{10})(t^1 \vee t^7) = z_1^h, (s^6 \vee s^7) t^1 \vee \\
& \vee s^7 t^7 = z_1^i; (s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) t^1 \vee (s^1 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) t^7 = \\
& = z_1^n; (s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10}) t^2 = z_1^r; \quad (11)
\end{aligned}$$

ля второй буквы окончания:

$$\begin{aligned}
& t^9 \vee t^{13} = z_2^m; t^7 \vee (s^2 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^7) t^8 \vee t^{11} = z_2^h; \\
& (s^1 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10}) t^8 = z_2^b; t^{14} = z_2^o; \quad (12) \\
& t^{10} = z_2^x; t^1 \vee t^2 \vee t^3 \vee t^4 \vee t^5 \vee t^6 \vee t^7 \vee t^{12} = z_2^h;
\end{aligned}$$

ля третьей буквы окончания:

$$\begin{aligned}
& t^{13} = z_3^h; t^1 \vee t^2 \vee t^3 \vee t^4 \vee t^5 \vee t^6 \vee t^7 \vee t^8 \vee \\
& \vee t^9 \vee t^{10} \vee t^{11} \vee t^{12} \vee t^{14} = z_3^h. \quad (13)
\end{aligned}$$

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О теории интеллекта. 3 кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 22, с. 3—11. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Математическая модель склонения полных непряжательных имен прилагательных.—Научная и техническая информация, 1978, № 11, с. 9—12. 3. Зализняк А. А. Грамматический словарь русского языка. М., Русский язык, 1977. 880 с.

Поступила 19 июля 1978 года

УДК 519.76:681.3

А. Я. ДРЮЧЕНКО

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Известно, что речевой сигнал, дискретизированный по методу импульсно-частотной модуляции (в дальнейшем — метод дискретизации с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе\*), в принципе полностью сохраняет как семантическую, так и эктосемантическую информацию исходного сигнала. Единственным информативным элементом в данном случае является временной интервал между стандартными импульсами. Это обстоятельство оказывается весьма важным при решении задачи автоматического распознавания речи, так как позволяет коренным образом упростить весь аппарат нахождения

\* Эффект сглаживания в слухе /О. А. Абрамов, А. Я. Дрюченко, Э. А. Усенко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко.—В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 19, с. 31—37.

признаков описания классифицируемого объекта, сведя систему этих признаков к двумерному пространству практически без потери информативности.

С другой стороны, свойства речевого сигнала, дискретизированного с учетом психофизического эффекта сглаживания слухе, таковы, что позволяют эффективно использовать его в области синтеза речи.

В цикле экспериментов с целью получения предварительных результатов, подтверждающих принципиальную состоятельность общей концепции разрабатываемого метода и его приемлемую техническую осуществимость, а также отработки конкретной методики регистрации и последующей обработки полученных данных, предстояло ответить на ряд вопросов. Последними являются: выбор параметра и шага дискретизации речевого сигнала; выявление полей, несущих характерные признаки семантической информации; определение устойчивости признаков семантической информации для одного и нескольких дикторов; устойчивость их в зависимости от абсолютного уровня исходного речевого сигнала; способ и пределы нормализации абсолютного уровня речевого сигнала; зависимость устойчивости признаков семантической информации от нормализации средней частоты основного тона голоса.

Для постановки экспериментов были разработаны и созданы специальные схмотехнические средства: канал преобразования акустического сигнала в электрический, блок предварительной нормирования исходного речевого сигнала по абсолютному уровню, блок дискретизации, буферное запоминающее устройство и блок центрального управления.

Перед началом экспериментов по изучению характеристик дискретизированного речевого сигнала был проведен комплекс работ по преобразованию в двоичный код стационарных периодических сигналов с фиксированным абсолютным уровнем, полученных при помощи генераторов звуковых частот, и изучение их характеристик. Полный последовательный двоичный исходного сигнала помещался в процессе преобразования в ферную память и выдавался для дальнейшей обработки в виде матриц  $16 \times 16$  двоичных элементов.

Статистическая обработка матриц подтвердила пригодность оборудования для проведения основных экспериментов, позволила определить конкретный речевой объект исследования, также параметр и шаг дискретизации и дала необходимый материал, изучение которого впоследствии облегчило процесс нахождения элементов дискретного сигнала, несущих характерные признаки семантической информации.

В качестве конкретного речевого объекта исследования был выбран аллофон гласных звуков русского языка, т. е. элементарная единица речи, несущая полную информацию о фонетическом качестве звука.

Был разработан метод дискретизации речевого сигнала с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе, основанный на выработке стандартного прямоугольного импульса и сравнении площади под кривой нормированного по абсолютному уровню речевого сигнала с некоторым заданным и постоянным значением площади при наличии импульса тактовой частоты, определяющей шаг дискретизации.

Для участия в проведении экспериментов было привлечено 4 дикторов (8 мужчин, 3 женщины, 1 подросток) с различными индивидуальными особенностями артикуляционного аппарата, но без явных дефектов речи. Каждый из них должен был в течение одного месяца произнести перед микрофоном не менее, чем по 20 раз гласные звуки *a, u, o, y, э, ы*. При этом по условиям эксперимента звук одной и той же фонетической принадлежности не повторялся более 2-х раз в один день.

Анализ всего материала экспериментов подтвердил принципиальную состоятельность идеи, положенной в основу разрабатываемого метода, и позволил сделать следующие выводы.

Тип макроструктуры аллофона однозначно связан с фонетической принадлежностью звука и инвариантен по отношению к индивидуальным особенностям артикуляционного аппарата диктора.

Элементы, характеризующие тип структуры аллофона, стабильны. Полный двоичный код аллофона, представленный в виде матрицы, содержит отчетливо выделяющиеся компактные области определенной конфигурации последовательностей двоичных элементов. Последние являются характерными признаками конкретного типа структуры аллофона, а, следовательно, фонетической принадлежности звука (см. рис. 1, 2).

Характерные области, определяющие фонетическую принадлежность звука, могут быть легко и удобно описаны формальным языком, например:

$$\begin{aligned} x) &= ((K_{\min} < N < K_{\max}) \wedge (C_{\min} < T < C_{\max})) \vee ((K_{1\min} < N_1 < \\ &< K_{1\max}) \wedge (K_{2\min} < N_2 < K_{2\max}) \wedge (C_{\min} < T < C_{\max})); \\ &= ((K_{1\min} < N_1 < K_{1\max}) \wedge (K_{2\min} < N_2 < K_{2\max}) \wedge (K_{3\min} < N_3 < \\ &< K_{3\max}) \wedge (K_{4\min} < N_4 < K_{4\max}) \wedge (C_{\min} < T < C_{\max})), \end{aligned}$$

е  $[a]$  и  $[i]$  — условное обозначение фонем «а» и «и»;  $N$  — единичная область нулей;  $N_{1,2, \dots}$  — примыкающие области нулей; — количество нулей (шагов) в области;  $T$  — период аллофона;  $C$  — количество двоичных знаков (шагов) в периоде, что, в свою очередь, позволяет легко осуществить процесс анализа и классификации речевого сигнала на аппаратурном уровне в реальном масштабе времени без процедуры первоначального обучения и адаптации. В цикле предварительных экспериментов была получена надежность распознавания, например, для  $[a]$  и  $[i]$  не хуже 93%, независимо от индивидуальных особенностей

артикуляционного аппарата диктора и при динамическом диапазоне абсолютного уровня речевого сигнала порядка 3 дБ. Нормализация средней частоты основного тона голоса не проводилась.

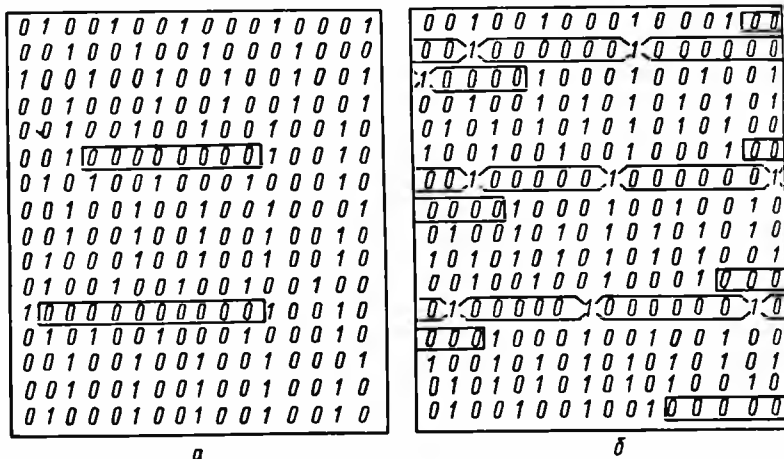


Рис. 1

Наличие и структурная стабильность характерных областей дискретизированного речевого сигнала обеспечивает надежное

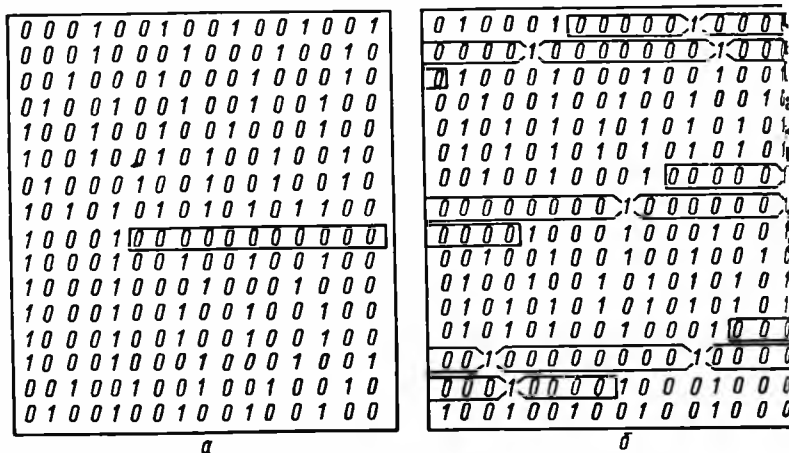


Рис. 2

выделение одиночного аллофона, на основе которого после сложной процедуры можно получить стационарный звук соответствующей фонетической принадлежности с фиксированной

начальной фазой, что весьма важно при решении ряда задач идентификации личности по голосу.

Каждый гласный звук в речевом потоке реализуется целой последовательностью аллофонов (в среднем не менее 10), часть из которых может по различным причинам искажаться. Однако достаточно встретиться хотя бы одному неискаженному аллофону, как он будет неизбежно классифицирован по своей фонетической принадлежности. Эта особенность значительно повышает надежность разрабатываемого метода.

На рисунках представлены фрагменты дискретизированных аналоговых звуков *a* и *и* (рис. 1 — диктор — женщина, рис. 2 — диктор — мужчина, шаг дискретизации в обоих случаях — 50 мкс).

Поступила 13 июля 1978 года

УДК 62.506.2

В. И. ПОТАПОВ, д-р техн. наук,  
В. Ф. НЕСТЕРУК, канд. техн. наук, Г. Ф. НЕСТЕРУК

### НОВЫЙ ПОДХОД К ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЙРОПОДОБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Проведенные к настоящему времени достаточно обобщающие и детальные исследования в области формальных методов анализа и синтеза нейроподобных элементов (НПЭ) и сетей НПЭ показали простоту и эффективность построения высоконадежных структур из НПЭ, выполняющих сложные логические и арифметические преобразования дискретной информации [1, 2].

Однако в практике НПЭ не нашли еще достаточно широкого применения ввиду трудностей, связанных с технической реализацией узла порогового взвешивания (УПВ) суммарного сигнала. Причиной этих трудностей является параметрическое представление дискретной единицы в процессе взвешивания и в следствие этого — параметрическая погрешность функционирования УПВ.

Рассмотрим выражение, описывающее работу УПВ с учетом параметрической погрешности:

$$F = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^n \omega_i (x_i \pm \delta_i) - (\theta \pm \delta_\theta) > 0; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^n \omega_i (x_i \pm \delta_i) - (\theta \pm \delta_\theta) \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_i \in \{0, 1\}$  —  $i$ -е возбуждающее, либо тормозящее входное воздействие;  $\omega_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го входа НПЭ;

$\theta$  — величина порога срабатывания НПЭ;  $\delta_i$ ,  $\delta_0$  — величины параметрических погрешностей дискретного представления соответственно  $i$ -го входного воздействия и порога срабатывания НПЭ.

Очевидно, что при существующих у современной элементной базы допусках на  $\delta_i$  и  $\delta_0$ , достигающих единиц и десятков процентов от номинальной величины, стабильность функционирования УПВ невелика.

Использование в качестве дискретного физического носителя единицы информации цилиндрического магнитного домена (ЦМД) [3], представляющего собой замкнутую цилиндрическую область, встречно намагниченную по отношению к окружающей

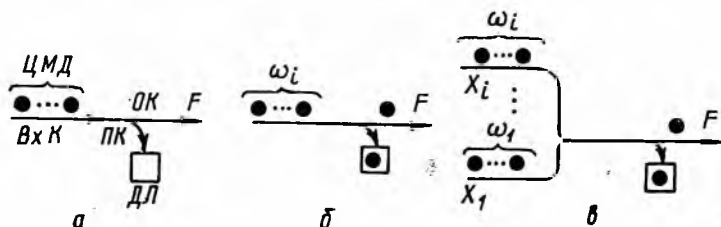


Рис. 1

среде магнитоодноосного кристалла — носителя ЦМД и сохраняющую свои дискретные свойства в широком диапазоне внешних возмущающих воздействий, явилось основой предлагаемого в настоящей работе нового подхода к практическому построению магнитных НПЭ в интегральном исполнении.

Дискретность физической природы ЦМД позволяет использовать в качестве эквивалента порога срабатывания УПВ некоторый «карман», количество клапанов (в терминах схемотехники ЦМД — динамических ловушек (ДЛ) [4]) которого численно равно величине порога срабатывания НПЭ. Кодирование единицы входного воздействия одним доменом дает возможность представить процесс порогового взвешивания как заполнение ДЛ доменами, поступающими по возбуждающим входам НПЭ. В качестве иллюстрации рассмотрим рис. 1, а, на котором условно изображен НПЭ с одним возбуждающим входом и порогом срабатывания, равным единице. На рисунке введены следующие обозначения: ВхК — канал поступления возбуждающих входных воздействий, кодируемых ЦМД; ПК — предпочтительный канал движения ЦМД; ОК — отводной канал движения ЦМД;  $F$  — выход УПВ.

Логика работы НПЭ заключается в следующем. Движение ЦМД по ВхК возможно только в направлении, указанном стрелкой. В точке разветвления ВхК домен движется по ПК, если ДЛ не занята. Если ДЛ уже занята одним из предыдущих ЦМД, то последующие домены, магнитоэстатически отталкиваясь от ЦМД в ДЛ, движутся по ОК и проходят на выход  $F$  УПВ (рис. 1, б).

Подобный НПЭ реализует пороговую функцию (1) для случая  $\theta = 1$ ,  $i = 1$ ,  $\omega_i \geq 2$ ,  $x_i \in \{0, 1\}$  (рис. 1, б), либо для случая  $\theta = 1$ ,  $\geq 2$ ,  $\omega_i \geq 1$ ,  $x_i \in (0, 1)$  (рис. 1, в).

Увеличивая количество ДЛ, можно изменять величину порога (рис. 2).

Данный НПЭ классифицируется как многовходовой, с возбуждающими входами ( $x_i \in \{0, 1\}$ ), и с постоянным порогом  $\theta = N$ .

Если в состав НПЭ ввести вспомогательный канал ВК (рис. 3) одварительного заполнения ДЛ, то изменением количества  $r$

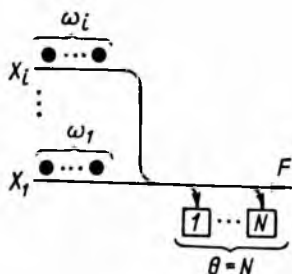


Рис. 2

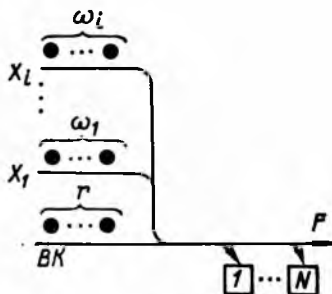


Рис. 3

ДЛ в ВК можно обеспечить широкий диапазон заданных значений порога срабатывания согласно выражению

$$\theta = N - r, \quad (2)$$

где  $N$  — общее количество ДЛ НПЭ. Функция, реализуемая УПВ, принимает вид

$$F = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^n x_i \omega_i + (r - \theta) > 0; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^n x_i \omega_i + (r - \theta) \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что ВК может восприниматься как возбуждающий вход НПЭ, весовой коэффициент которого равен  $r$ .

Рассмотрим реализуемую УПВ — функцию в случае наличия НПЭ входов как с возбуждающими, так и с тормозящими внешними воздействиями:

$$F = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^n x_i \omega_i + r - \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right| - N > 0; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^n x_i \omega_i + r - \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right| - N \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $x_i \in \{0, 1\}$ ,  $x_j \in \{0, -1\}$ .

Из выражения (4) видно, что появление у НПЭ тормозящих входов эквивалентно возрастанию порога срабатывания УПВ на величину  $\left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|$ . Представим выражение (2) с учетом (4) в виде  $\theta = \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right| + N - r$ , либо в виде

$$\theta_{\max} = N + \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max} - r. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что общее количество ДЛ НПЭ определяется суммой  $N + \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max}$ .

Значение величины  $\left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|$  может изменяться в диапазоне от 0 до  $\left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max}$ . При равенстве  $\left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right| = 0$  величина порога срабатывания определяется разностью  $(N - r)$ , что эквивалентно предварительному заполнению  $\left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max} + r$  ДЛ. В общем случае количество заполненных ДЛ НПЭ к моменту поступления возбуждающих сигналов определяется следующим выражением

$$M = \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max} + r - \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|$$

либо выражением  $M = r + L$ , где

$$L = \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right|_{\max} - \left| \sum_{j=1}^k x_j \omega_j \right| \quad (6)$$

или  $L = \sum_{j=1}^k \omega_j x_j$ .

С учетом выражения (6) структура НПЭ преобразуется к виду, представленному на рис. 4, а.

Данный НПЭ классифицируется как многовходовой с переменным порогом, с возбуждающими и тормозящими входами, с переменными весовыми коэффициентами и параллельным вводом входных воздействий.

При последовательном вводе входных воздействий структура НПЭ преобразуется к виду, приведенному на рис. 4, б. Подобный НПЭ имеет два внешних входа, один выход и однородную структуру, что позволяет эффективно использовать площадь магнитоодноосного кристалла с ЦМД. Так, например, на кристалле иттриевого ортоферрита размером  $6 \times 8$  мм реализуется НПЭ, содержащий  $R = 30$  ДЛ, либо  $\lfloor Q/3 \rfloor$  НПЭ с общим количеством ДЛ, равным  $R$ , где  $\lfloor A \rfloor$  — ближайшее целое, меньшее  $A$  число;  $Q$  — допустимое число выводов на кристалл.

Рассмотренные в настоящей работе типы НПЭ были изготовлены на основе кристаллов иттриевого ортоферрита и показали высокую функциональную надежность при испытании.

По мнению авторов, реализация НПЭ в интегральном исполнении на базе магнитных кристаллов с ЦМД является в настоящее время более перспективной по сравнению со многими известными способами технической реализации НПЭ.

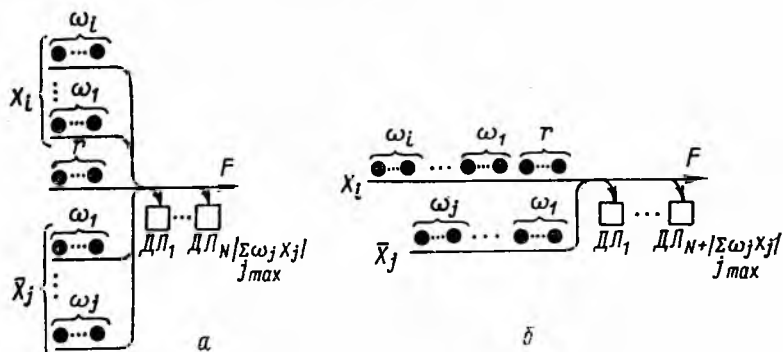


Рис. 4

Список литературы: 1. Мкртчян С. О. Проектирование логических устройств ЭВМ на нейронных элементах. М., Энергия, 1977. 200 с. 2. Потапов В. И. Анализ и синтез цифровых вычислительных и логических структур из пороговых модулей. Новосибирск, Новосиб. инж.-строит. ин-т, 1977. 78 с. 3. Vonesh A. H. Properties and Device Applications of Magnetic Domains in Orthoferrites.—The Bell System Technical Journal, 1967, October, p. 1901—1925. 4. Lee S. V. and Chang. Magnetic Bubble Logic. — IEEE Trans. Magn. 1974, V. MAG-10, № 4, p. 1059—1066.

Поступила 5 апреля 1978 года.

УДК 62.506.2

В. И. ПОТАПОВ, д-р техн. наук,  
Г. Ф. НЕСТЕРУК, В. Ф. НЕСТЕРУК, канд. техн. наук

### ОРГАНИЗАЦИЯ ДОМЕННЫХ НЕЙРОПОДОБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРЕСИНАПТИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

В работе [1] предложен способ практической реализации нейроподобных элементов (НПЭ) в интегральном исполнении, позволяющий значительно повысить надежность функционирования узла порогового взвешивания (УПВ) вследствие использования в качестве элементной базы для построения НПЭ цилиндрических магнитных доменов (ЦМД). Рассмотрены принципы построения магнитодоменных НПЭ, у которых отсутствует взаимодействие между входными волокнами.

В настоящей работе развивается проблема практической реализации доменных НПЭ в интегральном исполнении и просы организации различных типов НПЭ с пресинаптическим взаимодействием так называемых формальных нейронов (ФН) [3].

Согласно определению ФН можно представить в виде последовательного соединения блока взаимодействия входных выходов (БВВ) и УПВ. Поскольку принципы построения УПВ ЦМД достаточно полно раскрыты в [1], остановимся более подробно на доменной реализации БВВ.

Рассмотрим некоторые аспекты построения доменных схем (ДС). Во-первых, ЦМД в ДС за фиксированный отрезок времени перемещается по каналу распространения на строго фиксированное расстояние. И если входные волокна некоторого логического элемента (ЛЭ), представляющего собой узел синаптического взаимодействия, имеют протяженность, личную от длины входных волокон другого ЛЭ, то в случае одновременного возбуждения входов волокон информации прежде поступит на входы того ЛЭ, у которого волокна короче.

Во-вторых, необходимо учитывать планарную организацию ДС и предусмотреть развязку пересекающихся потоков информации.

В-третьих, в силу дискретной физической природы ЦМД в ДС необходимы так называемые делители ЦМД, предназначенные для ветвления исходной информации на несколько разнесенных потоков.

В-четвертых, в узле логического взаимодействия двух ЦМД (рис. 1, а) наиболее распространенного двухвходового ЛЭ в общем случае имеются четыре выхода, на двух из которых реализуется переключательная функция (ПФ) — конъюнкция, а на каждом из оставшихся — ПФ запрета по соответствующей переменной.

Возможны четыре варианта ЛЭ с узлом взаимодействия ЦМД [2] (рис. 1, б, в, г, д), причем необходимо отметить их функциональность доменных ЛЭ, одновременно реализующих как минимум, две ПФ, из которых по крайней мере одна является конъюнкцией. В ряде случаев (например, для неоднородных ФН) можно построить НПЭ на меньшем числе ЛЭ, при использовании электронных логических схем (см. рис. 1, б, в, г, д и рис. 2, а, б, в, г.). Кроме того, ЛЭ, представленные на рис. 1, б, д, совместно с генератором ЦМД (константа 1) образуют функционально полные базисы, что позволяет реализовать ДС на однотипных элементах, устойчивых к изменениям внешних дестабилизирующих воздействий.

В-пятых, в ДС недопустимо наличие неиспользуемых выходов ЛЭ, поскольку в этом случае появление на них ЦМД может привести к сбою в работе устройства. Поэтому все неиспользуемые

мые выходы ЛЭ должны быть соединены с аннигиляторами доменов.

На основании оговоренных выше особенностей построения ДС перейдем к рассмотрению вопросов о реализации ФН с различными типами пресинаптических взаимодействий. Необходимо отметить, что классификация ФН и обозначения, используемые ниже по тексту, соответствуют принятым в работе [3].

Входные волокна ФН в зависимости от их функционального назначения подразделяются на основные и дополнительные. Последние могут быть запрещающими и объединяющимися.

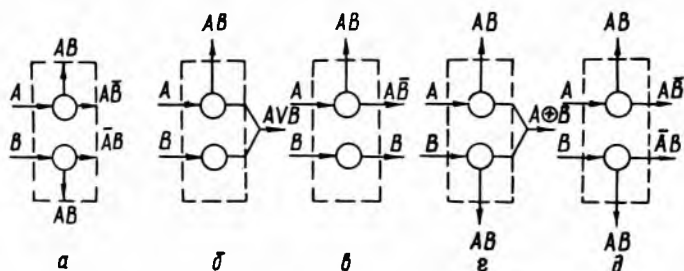


Рис. 1

В качестве иллюстрации рассмотрим рис. 2, а, б, в, г, на которых условно изображены эквивалентные указанным пресинаптическим взаимодействиям логические схемы и примеры их реализации соответствующими доменными ЛЭ, представленными на рис. 1, б, в, г, д. Подобные ЛЭ наиболее рационально использовать при реализации ФН со сложными типами пресинаптических воздействий, встречающимися, например, в неоднородных ФН или в ФН с комбинированными волокнами (см. рис. 2, а, б, в, г), поскольку у двухвыходных ФН часть функциональных выходов ЛЭ останется ненагруженной. Рис. 3, а, б, в иллюстрируют доменные варианты БВВ двухвыходных ФН с нормальными волокнами соответственно: запрещающими, разрешающими и объединяющимися, а рис. 3, г — примеры взаимодействия спонтанных (запрещающих и разрешающих) волокон их эквивалентные логические схемы.

На рисунках использованы следующие обозначения: Д — делитель ЦМД, П — элемент пересечения, Г — генератор доменов, А — аннигилятор ЦМД.

Функциональная полнота вышеприведенных доменных ЛЭ позволяет реализовать ФН с произвольным числом входных логических переменных за счет выполнения необходимой для каждого конкретного случая коммутации входов и выходов, образующих БВВ ЛЭ (рис. 4, а). Комбинирование нескольких элементов логического взаимодействия ЦМД в единый многовыходной ЛЭ дает возможность организовать одновременное взаимо-

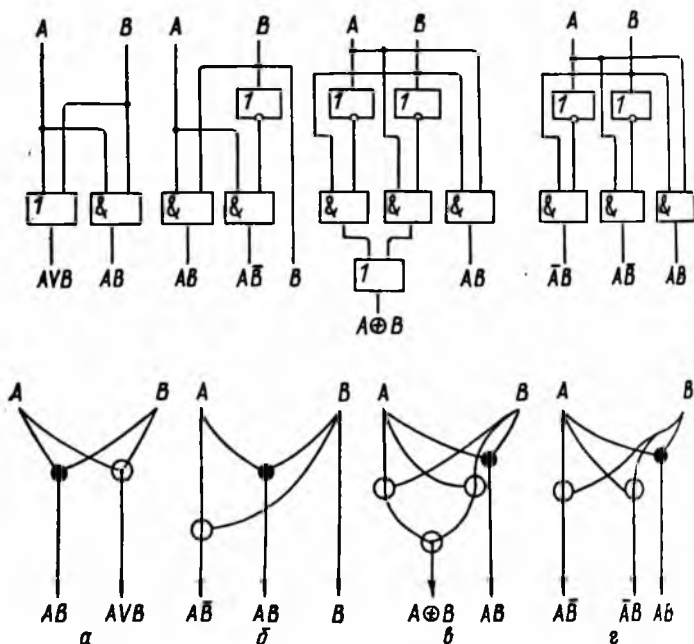


Рис. 2

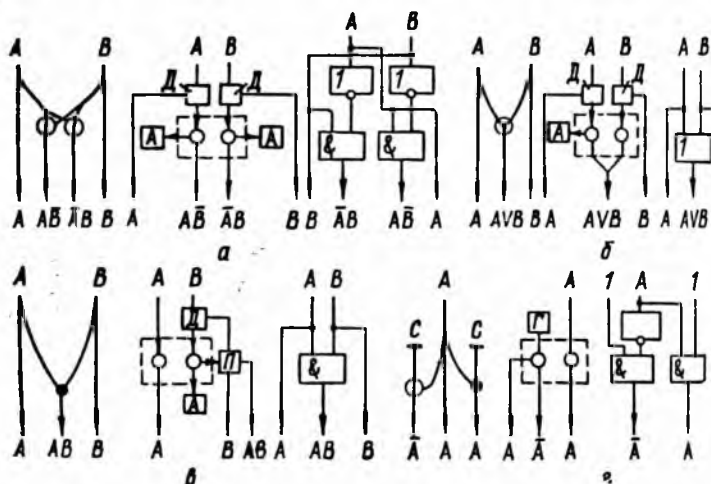


Рис. 3

действие нескольких входных волокон и значительно упростить результирующую структуру БВВ (рис. 4, б).

Определенный интерес представляет возможность реализации доменных БВВ в виде сети НПЭ без пресинаптического взаимодействия, что приводит к простому схемному решению Н за счет использования общих принципов организации БВВ

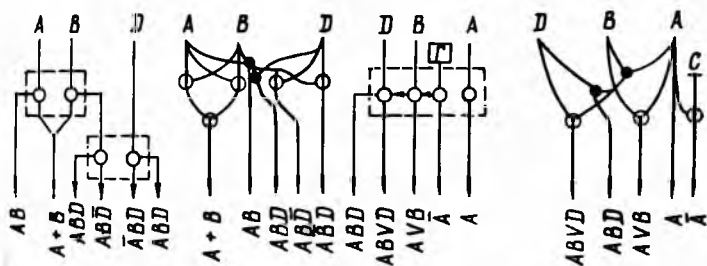


Рис. 4

УПВ. На рис. 5, а, б изображены НПЭ с взаимодействующими локнами (выделены пунктиром), БВВ которых выполнен на ПЭ, реализующих ПФ «И», «Или», «Запрет» согласно изложенным в работе [1] принципам. При этом, если в ФН на с. 5, а образующие его БВВ и УПВ являются самостоятельными функциональными узлами, то ФН по рис. 5, б структурно делим, поскольку динамическая ловушка ДЛ1 одновременно одит и в БВВ, и в УПВ.

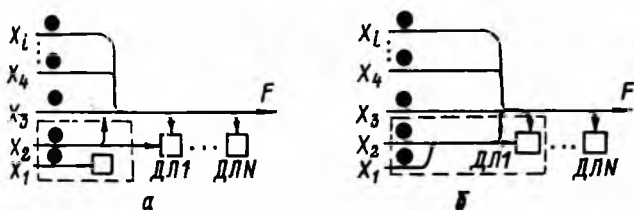


Рис. 5

Проведенный анализ и последующие испытания рассмотренных выше типов ФН, выполненных на кристалле иттриевого тоферрита, показали целесообразность построения НПЭ с пресинаптическим взаимодействием, так как доменные НПЭ вследствие дискретного представления входных воздействий  $X_i \omega_i$  и рога Т УПВ обладают большей функциональной надежностью, чем НПЭ с параметрическим представлением величин  $\omega_i$  и Т; доменные БВВ просты в реализации за счет многофункциональности доменных ЛЭ и возможности комбинирования нескольких узлов логического взаимодействия в единый мно-

говходовой ЛЭ; возможно построение образующих ФН функциональных узлов (БВВ и УПВ) на единых принципах организации УПВ, что существенно упрощает схемное решение ФН; доменные ФН, БВВ которых основаны на НПЭ, реализующих ПФ «И», «ИЛИ», «ЗАПРЕТ» (рис. 5, а, б), обладают большей областью устойчивой работы по сравнению с БВВ, выведенными на ЛЭ (см. рис. 1, б, в, г, д).

**Список литературы:** 1. *Потапов В. И., Нестерук В. Ф., Нестерук Г.* Новый подход к практической реализации нейроподобных элементов в интегральном исполнении. В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1980, вып. 2. *Kinoshita K., Sasao T., Matsuda I.* On Magnetic Bubble Logic Circuit IEEE Trans. Comput., 1976, V. C—25, № 3. 3. *Мкртчян С. О.* Нейронные сети. М., Энергия, 1971. 232 с.

*Поступила 1 июля 1978*

УДК 612.014.3(519.85) : (62.506)

*С. Л. ЗАГУСКИН*, канд. биол. наук,  
*С. Н. ГРИНЧЕНКО*, канд. техн. наук

### **МОДЕЛЬ ПОСТСИНАПТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ОБУЧЕНИЯ**

Необходимым первоначальным этапом нейробионического исследования и моделирования любой системы должно быть обучение свойств отдельного функционального элемента. Известно, что функциональным элементом нервной системы является отдельный нейрон с окружающей его глией и капиллярами. Такой комплекс содержит в себе все необходимые регуляторные механизмы элементарных информационных процессов, из которых на уровне нейронных сетей и мозга в целом путем количественного усложнения пространственно-временного кодирования и синтеза строится память как системный процесс. Для обоснования этой точки зрения необходимо доказать, что отдельный (изолированный!) нейрон обладает интегративной функцией [1], способен дифференцировать сигналы, оценить биологическую ценность информации, что он не простой пассивный образователь со случайным переключением и изменением синтаксических весов [2], а активный элемент с определенной целевой функцией [3]. Разрешение этой альтернативы имеет принципиальное значение, поскольку неправомерное упрощение и игнорирование существенных внутриклеточных процессов нейрона объяснение пластичности, надежности и самоорганизации в свойствах лишь вероятностных нейронных ансамблей [2] может быть причиной малой эффективности разработанных до сих пор многочисленных моделей и сегодняшних трудностей нейронной кибернетики и нейробионики. Парадокс состоит в том, что недостатком биологических фактов о межнейронных взаимодействиях

иях и методические ограничения при регистрации определяющих их факторов «преодолевались» в моделях тканевого уровня оправданным упрощением либо постулированием вероятностных отношений. В то же время многие существенные свойства нейрона, для исследования которых существуют широкие методические возможности, в большинстве моделей фактически не использовались, хотя на субклеточном уровне возможно строго предельно роль [3] и природу вероятностных отношений [4]. Это можно объяснить традиционным доминированием в нейрофизиологии чисто электрической интерпретации информационной функции нейрона. Некоторые такие подходы [2] прямо связывают феноменологические факты об изменении межимпульсной последовательности одного нейрона без учета состояния воспринимающего нейрона с передачей полезной информации. Стаются без внимания факты межнейронного взаимодействия через ионную среду, сдвиги pH, pO<sub>2</sub>, функция аксоплазматического тока, гуморальные и креаторные [5] связи. Принципиальной ошибкой, по справедливому замечанию М. И. Сетрова [6], является попытка интерпретации содержательной информации только в количественном аспекте, без учета энергетических взаимоотношений обеих систем, без учета сростства свободной энергии отражающей (информируемой) системы.

Нами разработана модель, которая обобщает полученные экспериментальные факты о механизмах обучения одиночного нейрона, учитывает механизмы информационной функции и другие (известные в литературе) факты, касающиеся механизмов памяти на субклеточном и клеточном уровне. Ранее [3] описана модель оптимизирующего (обучающегося) нейрона в агрессивном и упрощенном виде. В ней учтены: полученные нами факты, касающиеся механизма поисковой оптимизации и целевой функции нейрона; факты об изменении сомааксонного индекса, как механизма адаптации по выходу, и изменении концентрации свободного кальция, зависящие от агрегации тигроида как механизма адаптации по входу; взаимодействие между процессом и на входе (многоканальный оптимизатор) и на выходе (экстремальный регулятор) через общий энергетический критерий и изменение размеров сомы нейрона β. Уже на этом этапе мы разделяли точку зрения тех исследователей, которые считают, что для построения адекватных моделей не только нейрона, но и нервных сетей недостаточно учитывать изменение одних инаптических мембран и что для воспроизведения механизмов обучения и памяти необходимо учитывать некоторые внутриклеточные, постсинаптические процессы.

Не возвращаясь к механизмам работы нейрона в целом [3], подробно рассмотрим лишь процессы в отдельной постсинаптической зоне нейрона как его подсистемы. При разработке модели (рис. 1) исходили из необходимости учесть и отразить физиологическую память как вероятный продукт эволюции дру-

гих форм биологической памяти и взаимоотношения клеток бой ткани. В этой связи кроме электрического канала в мо- имеются энергетический и пластический каналы. Наряду специфическим медиаторным воздействием в ней существует параметрическое воздействие внешней среды в виде наруж концентрации ионов, энергетических субстратов,  $O_2$  ( $t_2$ ), а нокислот ( $t_3$ ) и т. д. Взаимодействие между нейронами осу- ствляется также с помощью креаторных ( $t_1$ ) связей [4], от

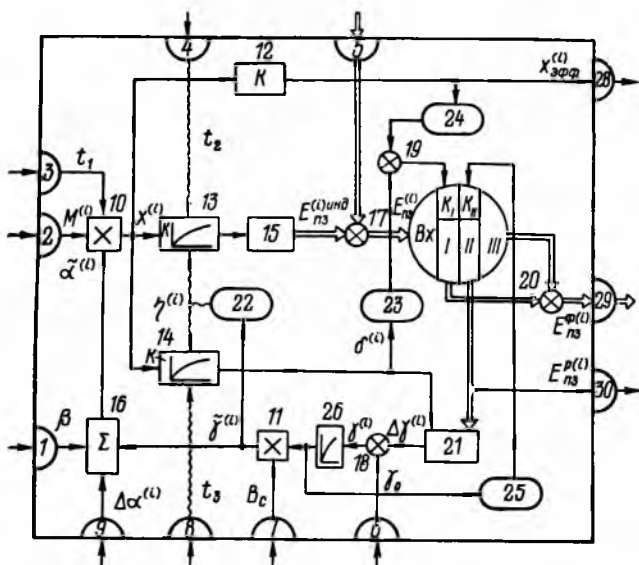


Рис. 1

жающих функцию аксоплазматического тока, воздействия мунологического характера белков и пептидов, которые влияют на обмен локально синтезируемых мембранотропных гликопептидов и ганглиозидов ( $\gamma_{(i)}$ ) в  $i$ -й постсинаптической зоне встраивание их в рецепторную мембрану [7, 8]. Схема соответствует фактам увеличения холинорецептивного белка, мозговых цитоскелетических белков, переходу из глики и модификации их действием изменяющейся концентрации кальция за счет общего для всей клетки фактора  $\rho$  и локального ( $\Delta\alpha_{(i)}$ ), связанные с агрегацией тигроида в данной постсинаптической зоне. Модель отражает также общеизвестный факт общей активации синтеза РНК и белка ( $B_c$ ,  $\gamma_0$ ) и их нормализации при консолидации также — взаимоотношения энергетики, трофики и функции

Блок-схема предлагаемой модели содержит девять входов 1—9, блоки умножения 10—11, усилитель 12, инерционное звено 13—14 с регулируемым коэффициентом усиления, р

ируемый источник энергии 15, сумматор 16 с весовыми коэффициентами, сумматоры 17—20, регулятор трофики 21, функциональные блоки 22—25, инерционное звено 26, распределитель потоков энергии 27 и выходы 28—30.

Принцип работы заключается в следующем. Медиатор  $M^i$ , риходящий на вход 2 устройства, поступает на первый блок мншения 10, где умножается на переменную  $t_1$  — уровень креарного воздействия на нейрон (параметр, поступающий на вход устройства) и на  $\tilde{\alpha}^{(i)}$  — приведенное значение коэффициента чувствительности  $i$ -й постсинаптической зоны (ПЗ). Последняя величина определяется в сумматоре 16:

$$\tilde{\alpha}^{(i)} = k_1^{(i)} \Delta \alpha^{(i)} + k_2^{(i)} \beta + k_3^{(i)} \tilde{\gamma}^{(i)},$$

де  $k_1^{(i)}$ ,  $k_2^{(i)}$ ,  $k_3^{(i)}$  — коэффициенты порядка 1, 10, 100 соответственно;  $\Delta \alpha^{(i)}$  — уровень высвобождения кальция, связанный с локальным изменением тигроида в  $i$ -й ПЗ (быстроизменяющаяся компонента коэффициента чувствительности, поступающая на ход 9);  $\beta$  — уровень высвобождения кальция, связанный с общей направленностью изменений тигроида при изменении геометрических размеров сомы нейрона (относительно медленная компонента, поступающая на вход 1);  $\tilde{\gamma}^{(i)}$  — величина химической модификации постсинаптической мембраны, определяемая как локальным синтезом встраиваемых веществ (гликопротеидов, ганглиозидов) в  $i$ -й ПЗ  $\gamma^{(i)}$ , так и общим уровнем активации пластических процессов в соме нейрона  $B_c$  (очень медленная компонента, поступающая на вход 7):  $\tilde{\gamma}^{(i)} = B_c F(\gamma^{(i)})$ , где  $F$  — оператор инерционности во времени (реализуется инерционным звеном 26).

Операция вычисления  $\tilde{\gamma}^{(i)}$  осуществляется во втором блоке умножения 11.

Выходная величина первого блока умножения 10  $x^{(i)}$  является основной переменной устройства — входом трех взаимозависимых каналов преобразования переменных: электрического, энергетического и пластического.

Электрический канал состоит из усилителя 12 и имеет своим выходом величину  $x_{\text{эфф}}^{(i)}$  — эффективное значение постсинаптического потенциала (поступает на первый выход 28). Энергетический канал включает в себя первое инерционное звено 13 с регулируемым коэффициентом усиления, перестраиваемый источник энергии 15, первый и четвертый сумматоры 17 и 20, 3-й, 4-й и 5-й функциональные блоки 23—25 и распределитель потоков энергии 27. Звено 13 отражает динамику связи изменения величины  $x^{(i)}$  и значения интенсивности синтеза индуцированной энергии в регулируемом источнике энергии 15; последняя величина квадратично связана со входом блока 15:  $E_{\text{пз}}^{(i)\text{инд}} = [K_{\text{из,ф}}^{(i)}(x^{(i)})]^2$ , где  $K_{\text{из,ф}}^{(i)}$  — коэффициент усиления

1-го инерционного звена 13. Величина индуцированной энерг.  $E_{пз}^{(i)внд}$ , суммируясь в первом сумматоре 17 с энергией основного обмена  $\mathcal{E}_{пз}^{(i)}$ , потребляемой в  $i$ -й ПЗ (поступает на вход 5), дает поток суммарной энергии  $i$ -й ПЗ  $E_{пз}^{(i)}$ . Этот поток делится на цели потребления соответствующих энергий на 3 части с помощью распределителя 27 потоков энергии пропорционально переменным приоритетам, вырабатываемым в устройстве и поступающим на второй и третий входы блока 27 (на первый в

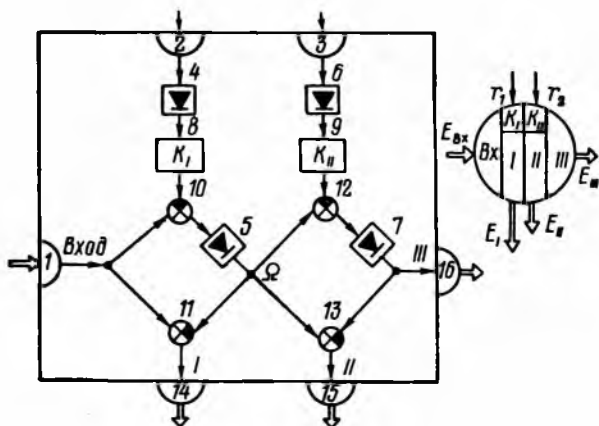


Рис. 2

поступает входной поток). Переменная первого приоритета вырабатывается во 2-м и 3-м функциональных блоках 23—24 третьем сумматоре 19, представляя собой взвешенную сумму  $k_4^{(i)} |x_{эфф}^{(i)}| + k_3^{(i)} |\delta^{(i)}|$ , где  $\delta^{(i)}$  — интенсивность деструктивных процессов в  $i$ -й ПЗ. Переменная второго приоритета, поступающая на третий вход блока 27, является выходом 4-го функционального блока 25:  $k_6^{(i)} |F_{пз}(\Delta\gamma^{(i)})|$ , где  $\Delta\gamma^{(i)}$  — уровень индуцированного синтеза мембранотропных веществ.

На рис. 2 представлена блок-схема распределителя 27 потоков энергии и его схематическое изображение. Он содержит первый (энергетический) вход 1, второй и третий (информационные) входы 2—3, блоки выпрямления 4—7, усилители 8—9, блоки вычисления разности 10—13 и энергетические выходы 14—15. Поступающий на вход 2 сигнал первого приоритета  $r_1$  выпрямляется в блоке 4 и усиливается в  $k_1$  раз в блоке 8. Результат вычитается из сигнала об уровне потока энергии  $E_{вх}$ , поступающего на распределитель через его вход 1. Полученное значение остатка выпрямляется в блоке 5 и снова вычитается (в блоке 10) из входного сигнала распределителя  $E_{вх}$ . Таким образом, в первом выходе распределителя 14 появляется поток энергии

общем случае пропорциональный управляющему сигналу первого приоритета  $r_1$ . В случае, если величина  $k_1 r_1$  больше входного потока энергии  $E_{вх}$ , первый выход распределителя  $E_1$  совпадает с  $E_{вх}$ , второй и третий его выходы будут нулевыми. Аналогично далее: из величины первого «остатка» потока входной энергии  $\Omega$  вычитается переменная, в общем случае пропорциональная управляющему сигналу второго приоритета  $r_2$ , поступающего на вход 3 распределителя потоков энергии. Результат выпрямляется в блоке 7 и поступает на третий выход распределителя 16, а также вычитается из  $\Omega$  в блоке 13 и поступает на второй выход распределителя 15. В случае, если величина  $r_2$  больше первого остатка  $\Omega$ , второй выход распределителя совпадает с  $\Omega$ , а третий выход будет нулевым. Таким образом, поток входной энергии  $E_{вх}$  распределяется на три потока лишь при достаточно малых  $r_1$  и  $r_2$ ; в противном случае он может разделиться только на два потока либо полностью «пересекаться» в первый выходной поток. В целом распределитель 27 потоков энергии реализует, в противоположность *пропорциональному* принципу распределения энергии, *приоритетный принцип*. Это связано с разной лабильностью двух категорий энергетических затрат: электрогенезом на мембране и быстрыми процессами деструкции, с одной стороны, и более медленными регуляторными процессами в соме, с другой. 3-й остаток (если есть в  $i$ -й ПЗ) имеет важное информационное значение для интеграции в соме, объясняющее, почему интеграция не может быть сведена к суммированию только постсинаптических потенциалов (известен также факт торможения синтеза РНК в период илленного электрогенеза).

Полученные в соответствии с описанным алгоритмом работы распределителя 27 потоков энергии первый и третий выходные токи энергии суммируются в 4-м сумматоре 20, выходом которого является величина  $E_{пз}^{\Phi(i)}$  — выходная функциональная энергия  $i$ -й ПЗ, поступающая на второй выход устройства 29. Второй входной поток энергии распределителя 27 потоков энергии поступает на вход регулятора трофики 21, где используется для обеспечения обмена белков, а информационный сигнал о его уровне — уровне регуляторной составляющей энергетических затрат в  $i$ -й ПЗ  $E_{пз}^{P(i)}$  — поступает на третий выход устройства 30 главным носителем этого информационного сигнала в клетке является, вероятно, циклический аденозинмонофосфат).

Результат трофики 21 реализует функцию:  $\Delta \gamma^{(i)} = k_7^{(i)} \delta^{(i)} E_{пз}^{P(i)}$ , т.е. вырабатывает значение приращения уровня обмена белков  $i$ -й ПЗ. Эта величина, суммируясь во втором сумматоре 18 уровнем концентрации  $\gamma_0$  рибосомальной РНК в клетке (поступает на вход 6 устройства), дает величину  $\gamma^{(i)}$ . К пластическому каналу устройства, помимо перечисленных выше регуляторной трофики 21, второго сумматора 18, инерционного звена 26,

второго блока умножения 11, второго и четвертого функциональных блоков 23, 25, относятся также: а) второе инерционное звено 14 с регулируемым коэффициентом усиления, на вход которого поступает  $x^{(i)}$ , а выходом является  $\delta^{(i)}$ ; б) первый функциональный блок 22, на вход которого поступает  $\tilde{\gamma}^{(i)}$ , а выход является величина  $\eta^{(i)} = 1/[1 + (\tilde{\gamma}^{(i)})^2]$  — коэффициент обратного сопряжения энергетического и пластического каналов  $i$ -й ПЗ с ее электрическим каналом. Величина  $\eta^{(i)}$  является параметром, изменяющим коэффициенты усиления первого и второго инерционных звеньев 13 и 14:

$$K_{из.}^{(i)} = k_8^{(i)} t_2 \eta^{(i)}; \quad K_{из.}^{(i)} = k_9^{(i)} t_3 \eta^{(i)},$$

где  $t_2$  — концентрация субстратов энергетического метаболизма и  $O_2$  (параметр, поступающий на вход 4 устройства);  $t_3$  — концентрация субстратов пластического обмена (параметр, поступающий на вход 8).

Величина  $\eta^{(i)}$  определяет степень «обученности»  $i$ -й ПЗ, уменьшаясь с ростом  $\tilde{\gamma}^{(i)}$ , что приводит к уменьшению  $k_{из.}^{(i)}$  и  $k_{из.}^{(i)}$ , как в «обученном» устройстве генерация  $x_{эфф}^{(i)}$  происходит без активации пластического и энергетического каналов (соответственно  $\delta^{(i)}$  и  $E_{пз}^{(i)}$ ). Обучение отражает более экономное пластическому и энергетическому обеспечению проведение электрического сигнала и увеличение соответствия постсинаптической структуры (изменения  $\tilde{\gamma}^{(i)}$  воспринимаемому воздействию  $M$

Для проверки работы модели и ее уточнения нами были проведены биологические эксперименты. На изолированном ханорецепторном нейроне рака была показана возможность выработки временной связи между подпороговым электрическим раздражением сомы нейрона с помощью внеклеточного микроэлектрода и следующего за ним через 100 мс адекватного раздражения — растяжения мышцы рецептора на 1—2 мкм 20 мс при интервале между сочетаниями 29 с и 5 мин. По нескольким десяткам сочетаний прежде подпороговое раздражение вызывало импульсный разряд, иногда даже более сильный, чем в ответ на адекватное раздражение. Угасание разряда пало лишь после длительного «отдыха» нейрона. Условие образования временной связи было повышением во время сочетаний раздражений общего уровня частоты импульсной активности. При более частых сочетаниях этого не наблюдалось соответственно выработать временную связь не удавалось в результате наложения следовых процессов. При изолированном применении ритмического адекватного раздражения с теми интервалами можно было наблюдать опережающую ответную реакцию — аналог рефлекса на время. При увеличении уровня частоты импульсной активности было обнаружено

меньшение агрегации тигроида и увеличение связывания в ем кальция (методы цитохимии и рентгеноспектральный микроанализ). При снижении уровня импульсации агрегация тигроида, наоборот, усиливалась, что коррелировало с увеличением вободного внутриклеточного кальция, выходом калия и снижением возбудимости: реакция нейрона на стандартизированное адекватное раздражение уменьшалась. Время сохранения измененной агрегации тигроида и концентрации кальция — около 20—30 мин — соответствовало процессам кратковременной памяти.

При сильных адекватных раздражениях с периодом 5 мин наблюдали быстрое снижение уровня фоновой частоты импульсации и его колебания с периодом 30 мин. Обычно после трех таких колебаний наблюдали быстрое восстановление возбудимости (уровня импульсации). В других аналогичных опытах методом прижизненной ультрафиолетовой цитоспектрофотометрии обнаружены колебания концентрации и содержания РНК и белков с тем же 30-минутным периодом. Поскольку уровень пластических процессов связан с агрегацией тигроида и концентрацией внутри клетки кальция и калия, это позволяет предположить переход кратковременной памяти (сохранение измененной концентрации свободного кальция в ПЗ нейронов) в долговременную путем синтеза и встраивания в постсинаптические мембраны специфических белков.

Энергетика обеспечивает и сопрягает в клетке все рабочие процессы от транспорта ионов (электрогенеза) до синтеза белка [4], поэтому она должна играть важную роль при обучении. В наших опытах обнаружен факт нормализации энергетики (при обучении) после ее активации во время переходного процесса. Меняя параметры раздражения нейрона по частоте и силе, можно было получить как увеличение возбудимости нейрона, так и ее снижение. В литературе описаны условия потенциации, депрессии, адаптации, а также привыкания на уровне отдельного нейрона [1]. Схема дает возможность объяснить эти феномены на основе приоритетного принципа распределения энергетических затрат.

Избыток индуцируемой внешним воздействием энергии во время переходного процесса объясняет фазу повышенной возбудимости нейрона. Нормализация энергетики устраняет этот эффект и ведет к адаптации. Однако при продолжающемся обучении нормализация (снижение) микроструктурных процессов (синтеза белка и энергозависимой аккумуляции кальция в тигроиде) избирательно уменьшает затраты по второму приоритету, что при определенном «привычном» ритме раздражения может дать остаток энергии на третий выход и приведет к эффекту облегчения. Наконец, при завершении обучения (уменьшение  $\eta_{(t)}$ ) дефицит энергии приведет к накоплению свободного кальция и увеличению калиевой проводимости, обуславливая

«привыкание» или адаптацию нейрона. В опытах с электрической стимуляцией нейрона, при которой нет (в соответствии моделью) такой активации энергетики, как при адекватно раздражении, «привыкание» наступило значительно раньше.

В пользу участия внутриклеточных процессов в обучении, которые, по нашему мнению, нельзя сводить лишь к неспецифическому изменению одних синаптических мембран, свидетельствуют следующие факты:

1. Возможность выработки временной связи на изолированном нейроне; возможность дифференцирования ими разных частот адекватного раздражения; кодирование их медленными колебаниями уровня частоты импульсной активности с периодом, превышающим период раздражения в 6—10 раз (структурно-энергетический механизм трансформации), сохранение этих вызванных колебаний в последствии; их смена, соответственно смене частоты раздражения (более быстрая при повторных предъявлениях) [9].

2. Тесная связь вызванных (выработанных) ритмов функциональной активности нейрона с ритмикой энергетического метаболизма и микроструктуры (агрегация тигроида и митохондрий). На живом нейроне методами дифференциальной и терферометрии и цитоспектрофотометрии нами показаны колебания агрегации тигроида с периодом около 30 мин. С помощью разработанного нами метода микрокиноденситографии (прижизненная микрокиносъемка с регистрацией оптической плотности одних и тех же участков клетки на последовательных кинонегативах) удалось обнаружить функционально обусловленную смену ритмов движений митохондрий с периодами 4—5, 12—18 с, 1—2 мин. Механизмы временной организации обучения в нейроне, временного кодирования раздражений и селекции сигналов описаны нами ранее [4]. Здесь же уместно упомянуть факты функциональной обусловленности пространственной гетерогенности АТФ-азной активности и степени агрегации тигроида в разных постсинаптических зонах нейрона. Эти факты наряду с данными о пространственной гетерогенности мембраны сомы [1] свидетельствуют о возможности пространственного кодирования и селекции сигналов уже на уровне отдельного нейрона. Так как пространственная неоднородность микроструктур постсинаптических зон определяет специфику временных процессов в каждой из них, в том числе частоты связывания кальция [4] и закрепления их встраиваемыми в рецепторную мембрану белками, то пространственная мозаика внутриклеточных процессов и соответствующие им частоты могут быть оптимальны и специфичны для каждого класса воздействий в каждой постсинаптической зоне.

3. Факты об увеличении экономичности — минимизации энергетических и пластических затрат на функцию при обучении нейрона (связь  $\eta^{(d)}$ ). Эта третья группа фактов позволяет об

иснить селекцию сигналов (либо их класса) в каждой зоне клетка по степени сохранения устойчивости ее микроструктуры на уровне энергетического и пластического метаболизма.

Изложенные факты и представления приводят нас к топимической гипотезе памяти. Память, как системный процесс, на уровне отдельного нейрона базируется на внутриклеточных механизмах, обеспечивающих пространственное и временное перекодирование и интеграцию внешних для нейрона сигналов путем оптимизации микроструктуры каждой постсинаптической зоны, ее соответствующего закрепления в структуре рецепторной мембраны (на основе количественного соответствия изменениям тигроида и кальция) и более предпочтительного и экономичного ее воссоздания при восприятии «привычных» сигналов. Последний процесс обеспечивается взаимозависимостью колебаний связывания и высвобождения кальция рецепторной мембраной и мембранами тигроида [4].

Данная модель реализована на алгоритмическом языке ЭОРТРАН. Ее исследование на ЭЦВМ «БЭСМ-6» показало лучшее соответствие имеющимся биологическим фактам и позволило предсказать новые факты, подтвержденные затем прямо или косвенно в цитологическом эксперименте. Можно надеяться, что детальная разработка всех подсистем модели оптимизирующего нейрона [3] позволит наметить новый цитокрибернетический подход для синтеза адаптивных информационно-управляющих устройств.

Авторы выражают благодарность м. н. с. Г. Г. Юрковой за проведение машинной реализации модели и участие в экспериментах с ней.

**Список литературы:** 1. Соколов Е. Н. Механизмы памяти. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969. 176 с. 2. Коган А. Б. Ансамблевая организация нейронов и функциональная надежность мозга. — В кн.: Вопросы кибернетики. М., 1976, кн. 19, с. 46—82. 3. Гринченко С. Н., Загускин С. Л. Модель оптимизирующего нейрона. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1978, вып. 21, 20—27. 4. Загускин С. Л., Гринченко С. Н. Энергетические характеристики адаптации нервной клетки. — В кн.: Переходные процессы в биологических системах. М., Наука, 1977, с. 115—119. 5. Осицкий Г. И., Ревич Г. Г. Креаторная связь и ее роль в организации цитоклеточных систем. М., Наука, 1975. 124 с. 6. Сетров М. И. Энергетический аспект организации систем. — В кн.: Вопросы кибернетики. М., 1977, кн. 32, с. 27—34. 7. Ашмарин И. П. Нейрологическая память как вероятный продукт эволюции других форм биологической памяти. — Журн. эволюц. биологии и физиологии, 1973, т. 9, № 3, с. 217—224. 8. Розанов С. И. Цитохимические механизмы записи информации в нейронах. — В кн.: Клеточные механизмы памяти. Пушкино, 1973, с. 187—202. 9. Загускин С. Л. Функциональное значение топохимических перестроек и колебаний микроструктуры нервной клетки. — В кн.: Цитохимические аспекты развития и функционирования нервной системы. Тбилиси, Изд-во Мецниереба, 1976, с. 25—28.

Поступила 12 сентября 1978 года

## АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Известные методы пространственной фильтрации изображений [1] не всегда позволяют выделить полезный сигнал на мешающем неоднородном фоне. Мешающий фон могут создавать сигналы с такими же оптическими и пространственными частотами, как и у объектов селекции. В этом случае приходится решать задачу селекции одних подвижных объектов на фоне других по траекторным пространственно-временным признакам. Сложность ее решения обусловлена двумя противоречивыми требованиями — необходимостью измерения достаточно полных траекторных характеристик всех источников излучения и существенными ограничениями времени на решение этой задачи.

Вместе с тем, можно привести немало примеров успешного решения подобных задач животными при погоне, уходе от преследования и в других конфликтных ситуациях [2]. Представляет интерес простейший механизм селекции, обнаруженный на уровне элементов сетчатки у амфибий. Здесь селекция осуществляется рецептивным полем с быстро меняющейся структурой под воздействием полезного (целевого) сигнала. Данный сигнал по-видимому управляет механизмом подключения фоторецепторов, расположенных в зоне вероятного появления объекта селекции через малый промежуток времени. Остальные фоторецепторы при этом заторможены. Можно предполагать, что при решении ряда задач селекции и распознавания подобный механизм адаптивной фильтрации позволит существенно сократить объем входных данных, а это приведет к уменьшению времени последующей обработки изображения и повышению отношения полезного сигнала к шуму.

Рассмотрим некоторые возможные пути использования указанного бионического принципа для селекции точечного сигнала по траекторным признакам. Для упрощения задачи введем следующие ограничения и начальные условия: пусть регистрация источников излучения осуществляется многоэлементным фотоприемником; выделяемый точечный объект появляется в поле обзора фотоприемника до появления других объектов, создающих помехи; движение всех источников излучения происходит в плоскости, параллельной плоскости фотоприемника; известна величина наибольшего ускорения движения  $a_{\text{макс}}$  выделяемого объекта. Задачу селекции целесообразно разделить на четыре последовательных этапа (рис. 1): 1 — регистрация источника излучения; 2 — измерение скорости объекта селекции; 3 — определение координат области фоторецепторов, в которой ожидается появление данного сигнала через определенный пром

куток времени; 4 — отключение фоторецепторов, не лежащих указанной области.

Пусть в системе селекции имеются технические средства, позволяющие через равные промежутки времени  $\Delta t$  определять величину и направление скорости  $v_0$  селектируемого сигнала. Наиболее сложным этапом задачи селекции является определение области пространства  $S$  на плоскости фотоприемника, в которой можно достоверно ожидать появления этого сигнала через промежутки времени  $\Delta t$ . Если затем в фотоприемнике будут отключены все фоторецепторы, не лежащие в области

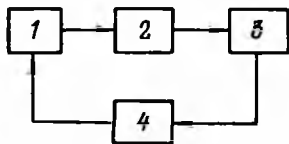


Рис. 1

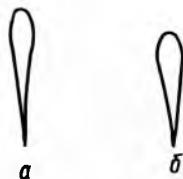


Рис. 2

, то любые объекты, расположенные вне ее, не создадут помехи. Через интервалы времени  $\Delta t$  границы области  $S$  должны изменяться в соответствии с изменениями величины и направления скорости селектируемого объекта.

В качестве примера рассмотрим равноускоренное движение бъекта селекции. Определим границы области  $S$  из известных начений  $v_0$  и  $a_{\text{макс}}$ . Наибольшее ускорение движения селектируемого объекта можно представить в виде суммы тангенциальной  $a_{\tau}$  и нормальной  $a_n$  составляющих:  $a_{\text{макс}} = a_{\tau} + a_n$ . Двигаясь прямолинейно и равноускоренно с ускорением  $a_{\text{макс}}$ , равным тангенциальной составляющей  $a_{\tau}$ , и начальной скоростью  $v_0$ , источник излучения за время  $\Delta t$  пройдет путь

$$l_{\text{макс}} = v_0 \Delta t + 0,5 a_{\text{макс}} \Delta t^2 \quad (1)$$

в направлении вектора скорости  $\vec{v}_0$ . Из условия

$$a_{\text{макс}} = a_n = v_0^2 / R_{\text{мин}}$$

можно определить минимальный радиус траектории движения селектируемого объекта:

$$R_{\text{мин}} = v_0^2 / a_{\text{макс}}. \quad (2)$$

Двигаясь по траектории с наименьшим радиусом кривизны  $R_{\text{мин}}$  скоростью  $v_0$  за время  $\Delta t$  источник излучения пройдет путь

$$l_{\text{мин}} = v_0 \Delta t. \quad (3)$$

При равноускоренном движении с наибольшим допустимым тангенциальным ускорением по траектории, радиус кривизны которой принимает значения, лежащие в пределах

$$R_{\text{мин}} < R < \infty, \quad (4)$$

уравнение пройденного пути принимает вид

$$l = v_0 \Delta t + 0,5 a_\tau \Delta t^2.$$

Здесь тангенциальное ускорение  $a_\tau$  определяется из уравнен

$$a_\tau = (a_{\max}^2 - a_n^2)^{1/2},$$

в котором

$$a_n = v^2/R = (v_0 + a_\tau \Delta t)^2/R.$$

Соотношения (1)—(7) позволяют найти границы истинной области пространства, в которой ожидается появление селектуемого объекта через интервал времени  $\Delta t$ .

Оптическая система фотоприемника уменьшает протяженность всех расстояний ( $l_{\min}$ ,  $l$ ,  $l_{\max}$ ,  $R_{\min}$ ,  $R$ ) в  $k$  раз. Этот коэффициент уменьшения ( $0 < k < 1$ ) необходимо учитывать при построении на плоскости фотоприемника границ области  $S$ . На рис. 1 границы данной области, найденные с помощью соотношений (1)—(7), построены для двух разных значений начальной скорости —  $v_{01}$  и  $v_{02}$  ( $v_{01} = 840$  м/с — (а),  $v_{02} = 560$  м/с — (б),  $\Delta t = 10^{-5}$  с,  $a_{\max} = 70$  м/с<sup>2</sup>,  $k = 2 \cdot 10^{-5}$ ). Следует отметить, что по известным значениям  $v_0$ ,  $a_{\max}$  и  $k$  можно определить границы области при любой ориентации плоскости фотоприемника по отношению к плоскости движения объекта селекции с учетом всех возможных маневров последнего. Данная задача может быть решена за время, меньшее  $\Delta t$ , только на быстродействующих ЭВМ.

На четвертом этапе селекции (рис. 1) необходимо за время значительно меньшее  $\Delta t$ , отключить все фоторецепторы фотоприемника, расположенные вне области  $S$ . Тогда любые источники излучения, проектируемые на фотоприемник и лежащие вне этой области, не будут создавать мешающего неоднородного фона. Появление других точечных объектов в области маловероятно, так как здесь существенно ограничены возможности безопасного маневрирования.

Качество фильтрации зависит от площади области  $S$ . Уменьшение этой площади приводит к повышению отношения полезного сигнала к шуму. Из соотношений (1), (3), (5) следует, что уменьшение площади области  $S$  может быть достигнуто в системе селекции только за счет уменьшения длительности интервала квантования времени  $\Delta t$ . Идеальной фильтрации точечного объекта можно достичь при условии  $\Delta t \rightarrow 0$ . В этом случае площадь области  $S$  также стремится к нулю. В реальных технических системах это условие не выполнимо, так как выбор интервала квантования времени  $\Delta t$  обусловлен суммарными инерционными элементами, осуществляющих все последовательные этапы селекции. Поэтому способ адаптивной фильтрации основанный на определении области  $S$ , является наиболее оптимальным для существующих технических систем.

Системы селекции точечного объекта используются, как правило, в оптических следящих системах. В реальных условиях при определении скорости необходимо учитывать движение следящей системы по отношению к селектируемому объекту. Эти движения приводят к изменениям проекции вектора скорости на плоскость фотоприемника. Сложность определения в данных условиях скорости селектируемого объекта является основным препятствием для реализации рассмотренного адаптивного фильтра.

В некоторых случаях бывает априори известно, что излучающий объект движется с большой скоростью, вследствие чего траектория его движения близка к прямолинейной и изменяется по направлению за большие промежутки времени. Если проекция траектории излучающего объекта на плоскость фотоприемника за время  $\Delta t$  остается прямолинейной (или кривизна ее изменяется незначительно), то можно осуществить адаптивную фильтрацию точечного объекта по направлению движения. При этом отпадает необходимость в определении скорости.

Рассмотрим возможности использования адаптивного фильтра-детектора направления движения в оптической следящей системе. Будем считать, что следящая система непрерывно через равные промежутки времени  $\Delta t$  осуществляет совмещение оптической оси фотоприемника с выделенным фильтром точечным объектом. Расположим все чувствительные элементы фотоприемника симметрично относительно его оптической оси. Тогда после каждого совмещения селектируемого объекта с оптической осью (т. е. после каждого цикла отслеживания) данный объект будет перемещаться в радиальных направлениях относительно фотоприемника с круговой симметрией.

Блок-схема адаптивного фильтра-детектора направления движения приведена на рис. 3.

На блок-схеме изображены: многоэлементный фотоприемник ( $\Phi$ ), разделенный на 6 одинаковых секторов, и схема коммутации отдельных элементов фотоприемника — фотоспротивлений ( $\Phi C$ ). Схема коммутации состоит из шести одинаковых каналов, каждый из которых осуществляет обработку информации, поступающей от фотоспротивлений одного сектора. Для наглядности на блок-схеме изображен полностью канал 1 и частично — канал 2.

Схема коммутации содержит усилители ( $У$ ), триггеры Шмитта ( $ТШ$ ) с одним устойчивым состоянием, блоки, реализующие операции логического сложения ( $ИЛИ$ ) и логического умножения ( $И$ ), триггеры ( $Т$ ). На блок-схеме верхний индекс каждого элемента определяет номер канала, а нижний — порядковый номер элемента в данном канале.

Рассмотрим работу системы на примере прямолинейного движения точечного источника излучения относительно фотоприемника из центра  $\Phi$  в секторе 1. Перед появлением источников

излучения все каналы селекции находятся в одинаковых состояниях, когда на верхние входы всех схем совпадения ( $I$ ) подается разрешающий сигнал («1»). При появлении селектируемого объекта, например в секторе 1 триггер  $TШ_3^1$  устанавливается в «единичное» состояние, сохраняющееся до тех пор, пока этот объект находится в данном секторе. Поэтому на выходе первого канала ( $I_3^1$ ) появляется сигнал, устанавливающий триггеры  $TШ_4^{2-6}$  всех каналов кроме первого ( $TШ_4^1$ ) в «нулевое» состояние

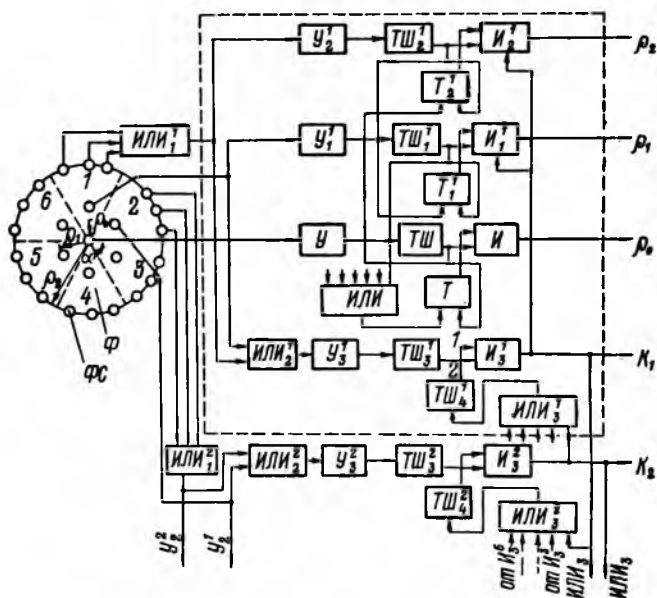


Рис. 3

Такое же состояние устанавливается на верхних входах схем совпадения ( $I_3^{2-6}$ ) всех пяти каналов (кроме  $I_3^1$ ). Следовательно, схемы совпадения  $I_3^{2-6}$  запрещают прохождение на выход системы сигналов от источников излучения, появляющихся в любом секторе фотоприемника кроме первого.

Перемещение селектируемого объекта из центра фотоприемника в «разрешенном» секторе сопровождается последовательным отключением фотоспротивлений. Так, при перемещении точечного источника на расстояние  $\rho_1$  триггеры  $TШ_1^1$  и  $T_1^1$  устанавливаются в «единичное» состояние, а триггер  $T$  — в «нулевое» состояние. В результате на выходе  $I_1^1$  появляется сигнал, а выход схемы совпадения  $I$  отключается. Аналогично отключается и элемент  $I_1^1$ , если источник излучения перемещается на расстояние  $\rho_2$ . На рис. 4 показано последовательное изменение конфигурации

области «открытых» фотсопротивлений ( $S$ ) при движении селективируемого объекта из центра к периферии фотоприемника ( $\Phi$ ):  $a - \rho = 0$ ;  $b - \rho = \rho_0$ ;  $в - \rho = \rho_1$ ;  $г - \rho = \rho_2$ . Любые помехи, появляющиеся в области отключенных фотсопротивлений (обведенной на рис. 4 пунктирными линиями), не вызовут выходного сигнала. Это приводит к улучшению помехозащищенности системы. Выходные сигналы системы указывают на номер сектора ( $K_1 - K_6$ ) и расстояние от центра фотоприемника до селективируемого объекта ( $\rho_0 - \rho_2$ ). Если угловая ширина сектора ( $\alpha$ ) велика, то выходные сигналы системы могут быть использованы

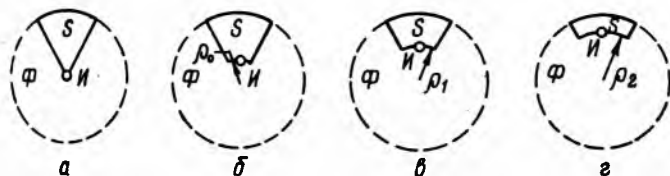


Рис. 4

для слежения за выделенным источником излучения, т. е. для управления системой совмещения оптической оси (центра) фотоприемника с объектом селекции.

После отслеживания источника излучения в центр фотоприемника направления траектории движения объекта не должно измениться. Поэтому в течение времени отслеживания  $T$  должно сохраняться прежнее состояние выходов  $K_1 - K_6$  каналов селекции. Для запоминания состояния используются триггеры  $TШ^{1-6}$ , у которых при помощи  $RC$  — элементов обратной связи регулируется время перехода в устойчивое состояние. Если это время превышает  $T$ , то на входе 1 схемы совпадения  $И_3$  открытого канала сохраняется «единичное» состояние. Таким образом, ранее работавший канал получает приоритет перед остальными, обеспечивая дирекциональную чувствительность фотоприемника в последующих циклах работы.

В рассмотренной системе (рис. 3) для наглядности фотоприемник разделен на 6 секторов, а каждый сектор — на 3 различные части кольцевых областей. Угловая ширина сектора ( $\alpha$ ) и радиусы кольцевых областей ( $\rho$ ) определяют площадь области на плоскости фотоприемника, в которой возможно появление первого наблюдаемого источника излучения в последующие моменты времени. Уменьшение этой площади (например, путем уменьшения угловой ширины каждого сектора) приводит к улучшению помехозащищенности системы.

С целью более полного исследования помехозащищенности рассмотренного адаптивного фильтра проведены экспериментальные исследования. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 5. На блок-схеме изображены: аналоговая

вычислительная машина (АВМ); имитатор источников излучения (ИИИ), разработанный на базе двухлучевого осциллографа «Орион»; адаптивный фильтр (АФ), состоящий из фотоприемника (Ф) и системы селекции (СС); имитатор следящей системы (ИСС). Фотоприемник изготовлен из фотосопротивления СФЗ-1, а система селекции — из интегральных элементов дискретной логики.

ИИИ формирует на экране двухлучевой трубки изображение двух точечных источников излучения, движущихся совместно

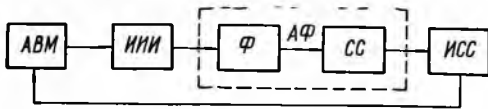


Рис. 5

из центра трубки с последующим разделением их траекторий. При этом один из точечных объектов не изменяет направление движения. Закон движения источников излучения задается АВМ. Во

можно и независимое движение объектов по разным траекториям

Назначение ИСС — адекватно воспроизвести на экране ИИИ изменения характеристик движения источников излучения, вызванные работой следящей системы. Если выделенный источник излучения перемещается к периферии фотоприемника, то ИСС отключает управляющие напряжения АВМ и ИИИ, источники излучения смещаются постоянными напряжениями начальные точки их траекторий движения.

Проведенные на макете эксперименты показали, что выделение и «отслеживание» первого излучающего объекта осуществляется надежно и не зависит от вида помех, если последние не находятся в области «открытых» фотосопротивлений. В противном случае возникает неопределенность в определении расстояния  $\rho$ , которая может привести к ошибке при «отслеживании» селектируемого объекта.

Проведены также эксперименты по выделению «мерцающего» источника излучения на фоне непрерывно излучающей помехи. Эффект «мерцания» обычно возникает при регистрации сильно удаленных объектов, когда интенсивность излучения селектируемого источника соизмерима с интенсивностью фона [1]. В этом случае данный источник излучения регистрируется фотоприемником не регулярно, что приводит к снижению помехоустойчивости системы пеленгации.

Для отображения эффекта «мерцания» на экране ИИИ яркость одного луча трубки модулировалась по амплитуде с частотой от 1 до 10 Гц. Модуляция осуществлялась путем аперийного отключения модулирующего электрода электронно-лучевой трубки ИИИ от источника питания.

В режиме «мерцания» объект селекции не излучает в течение большого промежутка времени  $\tau_m$  — от 0,1 с до 1 с. Во все каналы селекции после усилителей  $У_3$  введена задержка на

время, большее  $t_m$ . Данная задержка позволила сохранить прежнее состояние каналов селекции в течение времени отключения селектируемого объекта и обеспечить нечувствительность системы к эффекту «мерцания».

Можно перестраивать структуру адаптивного фильтра при изменении направления движения объекта. Так, если селектируемый объект изменяет траекторию движения и его изображение перемещается в соседний сектор фотоприемника, то по последним координатам объекта можно предсказать номера сектора и кольцевой зоны, в которых ожидается его появление. После чего следует соответствующим образом перекоммутировать фотоспротивления. Техническая реализация алгоритма перестройки не представляет трудности.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать общий вывод: использование даже простых бионических принципов адаптивной пространственно-временной фильтрации может привести к заметному сокращению объема поступающей информации, а следовательно, к уменьшению времени обработки изображения и повышению помехозащищенности поисковых и распознающих систем.

Список литературы: 1. *Левшин В. И.* Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. М., Сов. радио, 1971. 200 с. 2. *Прибрам К.* Языки мозга. М., Прогресс, 1975. 464 с.

*Поступила 12 сентября 1978 года*

УДК 681.142.36

*Ф. В. ФРОЛОВ, М. Н. ШНАЙДЕР*

### **АДАПТИВНАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Для выделения элементарных признаков при автоматическом распознавании различного типа изображений прибегают к методам пространственной фильтрации. Элементарными признаками выбраны прямые линии [1, 2, 3, 4], точки пересечения, свободные концы контурной линии [3] и т. д. В результате выполнения пространственной фильтрации изображение преобразуется в набор элементарных признаков, что упрощает операцию принятия решения и позволяет сохранить информацию, необходимую для надежной классификации распознаваемого изображения.

При помощи пространственной фильтрации успешно решаются задачи, связанные с распознаванием изображений машинописных оттисков и стилизованных знаков [1, 4]. Основная трудность связана с вариацией размеров изображений, толщины контурной линии, формы написания изображений одного класса.

Рассмотрим возможность использования логической пространственной фильтрации с адаптацией параметров фильтра в зависимости от размеров распознаваемого изображения, что позволяет повысить вероятность выделения элементарных признаков и получить однотипное описание изображений, имеющих различные размеры.

В качестве элементарных признаков  $P$  выбраны прямые линии, имеющие горизонтальное  $P_H$ , вертикальное  $P_B$  и наклонные  $P_{H1}$ ,  $P_{H2}$  направления (рис. 1). Благодаря этому с достаточной точностью, необходимой для классификации, описывается изображение рукописного знака  $f(x, y)$ . В связи с тем, что выделяемые элементарные признаки имеют вполне определенное направление, для их обнаружения используем анизотропные логические фильтры. Обозначим их соответственно  $\Phi_H$ ,  $\Phi_B$ ,  $\Phi_{H1}$  и  $\Phi_{H2}$ . Импульсную функцию рассеяния логических фильтров выбираем равномерной, т. е.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & x, y \in L_\Phi; \\ 0, & x, y \notin L_\Phi, \end{cases}$$

где  $L_\Phi$  — поле фильтра, представляющее собой прямоугольник с размерами по горизонтали и вертикали соответственно  $X_\Phi$  и  $Y_\Phi$ .

Распознаваемое изображение  $f(x, y)$  представлено в виде раstra размером  $n \times m$ , каждый элемент которого определяется выражением

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f \text{ принадлежит контуру изображения;} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $x = 1, 2, \dots, n$ ,  $y = 1, 2, \dots, m$ . Для фильтра с характеристикой  $g(x, y)$  операция логической фильтрации исходного изображения может быть записана так: для фильтра  $\Phi_H$

$$\varphi(y_i) = \sum_{x=1}^{X_\Phi} \left( \bigvee_{y=y_i}^{y_i+Y_\Phi} f(x, y) \right);$$

для  $\Phi_B$

$$\varphi(x_i) = \sum_{y=1}^{Y_\Phi} \left( \bigvee_{x=x_i}^{x_i+X_\Phi} f(x, y) \right);$$

для  $\Phi_{H1}$  и  $\Phi_{H2}$

$$\varphi(y_i) = \sum_{x=1}^{X_\Phi} \left( \bigvee_{y=y_i \pm x}^{y_i \pm x + Y_\Phi} f(x, y) \right),$$

где  $i = 1, 2, \dots, m - y_\Phi$ ,  $j = 1, 2, \dots, n - x_\Phi$ , знак (+) — для фильтра  $\Phi_{H1}$ , а знак (—) — для  $\Phi_{H2}$ . При выполнении операции фильтрации следует иметь в виду, что сумма берется только пр

личии в зоне фильтра одной линии, в противном случае она подразделяется на несколько независимых сумм

$$\varphi(z) = \varphi_1(z) + \varphi_2(z) + \dots + \varphi_k(z)$$

каждая часть анализируется независимо. Для принятия решения о наличии или отсутствии элементарных признаков вводится пороговая величина  $l_0$ , зависящая от максимальных размеров распознаваемого изображения по горизонтали  $X_{\max}$  и вертикали  $Y_{\max}$ :  $l_0 = \psi(X_{\max}, Y_{\max})$ ; при этом

$$\gamma_i(z) = \begin{cases} 1, & \text{если } \varphi_i(z) \geq l_0; \\ 0, & \text{если } \varphi_i(z) < l_0, \end{cases}$$

где под параметром  $z$  подразумевается координата места положения фильтра. Равенство  $\gamma_i(z) = 1$  характеризует наличие в зоне

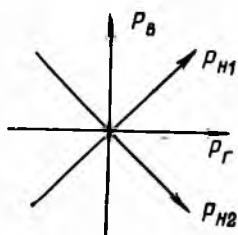


Рис. 1

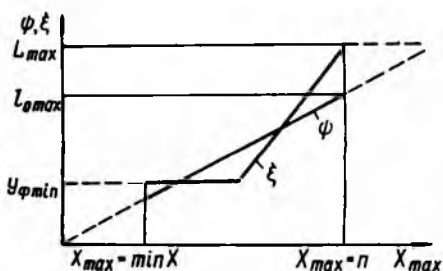


Рис. 2

фильтра элементарного признака. Поскольку равенство может выполняться на протяжении нескольких шагов анализа матрицы исходного изображения, необходимо определить координаты признака с максимальным значением функции  $\varphi_i(z)$ , т. е.

$$Z = \arg \max_z \varphi_i(z). \quad (1)$$

В результате выполнения операции фильтрации и операции определения координат элементарного признака (1) над матрицей исходного изображения  $f(x, y)$  формируется набор элементарных признаков  $P(\alpha_i, \beta_i)$  с координатами начала  $\alpha_i(x, y)$  и конца  $\beta_i(x, y)$  выделенных линий. Чтобы полнее описать изображение, необходимо учесть связность полученных признаков. Для этого анализируем области  $S$ , окружающие элементы исходного изображения с координатами  $\alpha$  и  $\beta$ . Если в области  $S$  окажутся элементы исходного изображения с координатами  $\alpha(x, y)$  и  $\beta(x, y)$  двух элементарных признаков и при этом элементы области  $S$  принадлежат контурной линии  $(f(x, y) \in S) = 1$ , то точки с координатами  $\alpha_i(x, y)$  и  $\beta_i(x, y)$  считаем связанными. Из этого вытекает, что  $P_i$  и  $P_j$  — связанные признаки. Таким образом, набор элементарных признаков преобразуется в цепочку связанных

признаков. Введем следующие обозначения. Связность точек  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  будем обозначать как  $\leftrightarrow$ , а несвязность —  $\nleftrightarrow$ . Полученная цепочка элементарных признаков является избыточной, поскольку контурная линия в виде дуги может породить как  $P_G(\alpha_i, \beta_i)$  и  $P_B(\alpha_i, \beta_i)$ , так и  $P_H(\alpha_i, \beta_i)$ . В этом случае предпочтение отдается горизонтальным и вертикальным признакам. Поэтому при наличии  $P_G(\alpha_1, \beta_1)$ ,  $P_B(\alpha_2, \beta_2)$  и  $P_H(\alpha_3, \beta_3)$ , таких, что  $\beta_1 \leftrightarrow \alpha_2$  и  $\beta_2 \nleftrightarrow \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, P_H(\alpha_3, \beta_3)$  исключается из дальнейшего анализа. Преобразованная цепочка  $P$  определяет структуру исходного изображения с минимальным количеством элементарных признаков.

Изображения рукописных знаков обладают большой вариацией размеров по горизонтали и вертикали, что значительно снижает вероятность выделения элементарных признаков. Для преодоления этого недостатка вводится адаптивная система выбора параметров  $X_\Phi, Y_\Phi$  и  $l_0$  в зависимости от размеров  $r$  познаваемого изображения. При этом величины  $X_\Phi, Y_\Phi$  и  $l_0$  определяются выражениями:

$$l_0 = \psi(X_{\max}, Y_{\max}); X_\Phi = \xi(X_{\max}, Y_{\max}); Y_\Phi = \xi(X_{\max}, Y_{\max}).$$

Зависимость  $\psi$  является линейной, поскольку с увеличением размеров анализируемого изображения по горизонтали или по вертикали соответственно увеличивается и длина элементарного признака, что вызывает необходимость увеличения порога  $l_0$  для его выделения. Функция  $\xi$  в общем случае выполняет нелинейную операцию по устранению влияния соседних участков контурной линии на выделение элементарных признаков. При этом для  $\Phi_G, \Phi_H$  величины  $X_\Phi = X_{\max}$ , а для  $\Phi_B — Y_\Phi = Y_{\max}$ , что определяет длину выбранной системы фильтров. Ширина фильтров  $X_\Phi$  и  $Y_\Phi$  соответственно для  $\Phi_G, \Phi_H$  и  $\Phi_B$  выбирается равной максимальной толщине контурной линии  $L_{\max}$  и при уменьшении размеров распознаваемого изображения уменьшается до определенной величины, зависящей от качества распознаваемого изображения. На рис. 2 показаны зависимости величины  $l_0$  для  $P_G$  и  $Y_\Phi$  для  $\Phi_B$  от максимальной ширины распознаваемого изображения  $X_{\max}$ .

Моделирование рассматриваемого метода аппроксимации на вычислительной машине показало, что он позволяет свести изображения одного класса, отличающиеся размерами и формой написания, к сравнительно простым формам, имеющим одинаковые цепочки элементарных признаков. Это позволяет использовать простые решающие правила для классификации изображений и повысить достоверность их распознавания.

**Список литературы:** 1. Выделение признаков ориентации средней линии штриха/Р. И. Шурна, А. В. Лашас, И. Ю. Навикас, А. Б. Расюкавичюс. — В кн.: Материалы конф. Автоматизация ввода письменных знаков в ЦВР, 1977, с. 229—232. 2. Навикас И. Ю., Шурна Р. И. К вопросу пространственной фильтрации. — Техническая кибернетика. Каунас, 1977, т. 9, с. 26—31. 3. Романов В. П. К теории анизотропной фильтрации изображений. — Труды

1 Всесоюз. конф. по информационно-поисковым системам и автоматизированной обработке науч.-техн. информации. М., 1967, т. 3, с. 78—84. 4. Чорштан Э. П. Методика формирования иерархической системы логического деления характерных параметров описания изображений. Сообщение I. — кн.: Проблемы бионики. 1974, вып. 13, с. 114—121.

*Поступила 12 сентября 1978 года*

УДК 62.506.2

*В. Ф. АНАНИН*

## **СЕТЧАТКА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Механизм трансформации световой энергии в нервные импульсы основан на деформации локальных участков клеток пигментного эпителия и, как следствие этого, деформация наружного сегмента фоторецептора вдоль его продольной оси [1]. В зависимости от фонового засвета изменяется продольная длина фоторецепторов и высота клеток пигментного эпителия,— происходят так называемые ретиномоторные процессы [2].

При ретиномоторных процессах наряду с изменением длины фоторецепторов имеет место миграция зерен пигмента между наружными сегментами фоторецепторов. В последнее время активно утверждается точка зрения о наличии центробежных волокон в зрительном нерве и их связи с сетчаткой [3]. Согласно работе [4] в зрительном нерве находятся центробежные волокна, раздражение которых вызывает сокращение внутренних члеников колбочек. К тому же существует связь с ретикулярной формацией среднего мозга [5].

На связь афферентной импульсации, в том числе и зрительной, с ретикулярной системой указывали многие исследователи, однако целесообразность такой связи не установлена. Обнаружены эфферентные пути от группы клеток ретикулярной системы к кортикальным нейронам зрительных центров, назначение которых окончательно не выяснено.

Очевидно, в ходе эволюционного развития в мозге человека должна была появиться нейронная организация, ответственная за коррекцию функциональных свойств тех или иных систем в соответствии с изменением внешнего воздействия. Предполагается, что эта коррекция осуществлялась произвольно, а ее характер воздействия был адекватным изменению внешнего фона. Пожалуй, подобную функцию, помимо других, в значительной степени выполняет ретикулярная система мозга. Попытаемся представить, хотя бы в общем виде, механизм этого влияния, для чего в первую очередь определим функциональную значимость указанных связей в системе регуляции зри-

тельного анализатора, в том числе и сетчатки глаза. Предположим, что между ее ретиномоторными процессами, центробежными связями и теми структурами мозга, от которых они берут свое начало, имеется самая непосредственная взаимосвязь, направленная на регуляцию чувствительности сетчатки в зависимости от внешнего фона. Представим схему сетчатки и ее связи с структурами мозга, поясняющими функциональное назначение

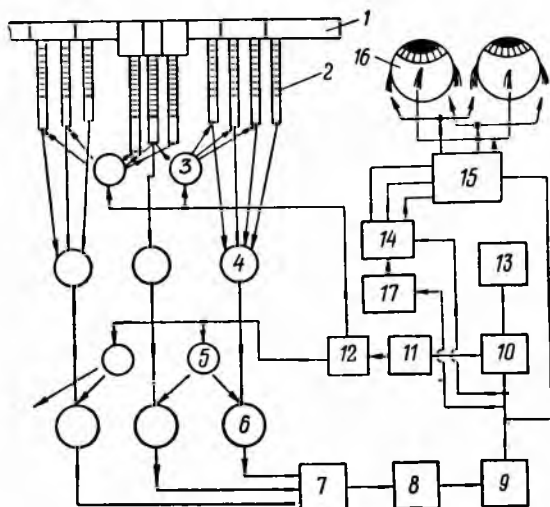


Рис. 1

центробежных волокон, в виде рис. 1. Здесь 1 — клетки пигментного эпителия (упругая среда, воспринимающая импульсы фотонов); 2 — фоторецепторы (биологический вариант пьезодатчиков); 3 — горизонтальные клетки (промежуточные элементы для передачи сигнала обратной связи с одной горизонтальной клеткой на группу клеток фоторецепторов); 4 — биполяры (промежуточные связующие элементы с конвергентной функцией); 5 — амакриновые клетки (промежуточные элементы для передачи сигнала обратной связи на группу ганглиозных клеток); 6 — ганглиозные клетки (сумматоры первичных сигналов, получаемых с выхода фоторецепторов с их последующим квантованием на пакеты импульсов); 7 — зрительный нерв (кабель); 8 — хиазма (распределительный узел); 9 — зрительный тракт (кабель); 10 — наружное коленчатое тело (релейно-распределительная станция афферентных сигналов); 11 — прегенукулярное ядро (промежуточный узел); 12 — группа клеток «А» ретикулярной формации среднего мозга (генератор импульсов); 13—17 — поле коры (вторичный преобразователь нервной афферентной импульсации в световое ощущение); 14 — передние бугры че

рохольмия (координирующий узел); 15 — глазодвигательные тра (промежуточные элементы, выполняющие роль усилителей афферентных сигналов); 16 — глазное яблоко (регулируемый объект); 17 — группа клеток «Б» ретикулярной системы среднего мозга, управляющая произвольными движениями глаз (генератор эфферентных импульсов); 18 — коллатерали внешней афферентации, конвергирующие на ретикулярную форму среднего мозга (побочные связи). Согласно схеме на рис. 1 путь нервной импульсации с выхода ганглезных клеток, кроме специфических путей, направляется к группам клеток ретикулярной системы. Последние мы оцениваем как генерирующие, активность генерации которых находится в прямой зависимости от внешней афферентации. Между прочим высказывалось мнение, что ретикулярная система «обладает, — как тонически замечает С. А. Саркисов, — собственными энергетическими ресурсами и оказывает ведущее и определяющее влияние на деятельность всей нервной системы, и, следовательно, и поведение животных и человека» [6, с. 123]. Рассмотрим ретикулярную систему, а точнее ее группу клеток, относящихся к зрительному анализатору, как энергетический узел, который формирует исходный тонус элементов и подсистем зрительного анализатора. Этот узел оказывает влияние на них как по центробежным, так и эфферентным волокнам, находясь под непосредственным влиянием внешней афферентации. О наличии собственного аппарата регуляции функционального состояния системы — тонуса для каждого анализатора, в том числе зрительного, высказывает предположение и М. М. Хананашвили [7]. По его мнению, структуры, ответственные за тонус зрительной системы, «представлены в глубоких слоях передних холмов. Последние, — подчеркивает он, — имеют хорошо выраженные продольные пути к ретикулярной формации среднего мозга и сами содержат большее число ретикулярных клеток» [7, с. 1519].

Основное назначение этой группы клеток ретикулярной системы, обозначенное на схеме рис. 1 в виде «А», по отношению к сетчатке — обеспечивать через центробежные волокна тонус элементов, включая, прежде всего, фоторецепторы и ганглиозные клетки. Подобно тому, как опорное напряжение создает определенный «тонус» фотосопротивлений, без которого практически невозможна нормальная работа данного преобразователя, так и ретикулярная система своей тонической импульсацией обеспечивает исходное рабочее состояние фоторецепторов. Более того, в зависимости от опорного напряжения фотоприемника существенно меняется его чувствительность. Аналогичная ситуация, видимо, имеет место и в сетчатке, где под действием импульсации, исходящей от группы клеток ретикулярной системы, выполняющей роль своеобразного биологического опорного напряжения для фоторецепторов, меняется их чувствительность. Механизмы подобного изменения чувствительности

преобразователей в обоих случаях отличаются. Помимо этого, участок пути от ретикулярной системы до горизонтальных и амакринных клеток включительно можно рассматривать как автоматическую обратную связь, предназначенную для регулирования чувствительности фоторецепторов, в частности, их наружных сегментов — этих своеобразных биологических пьезодатчиков, а также регулирования активности ганглеозных клеток, регулирующих в конечном итоге величину выходного сигнала сетчатки. В данном случае напрашивается аналогия с системой автоматического регулирования усиления (АРУ), широко используемой в технике. Однако в сетчатке глаза происходит одновременное регулирование рабочего режима двух ее элементов: фоторецепторов и ганглеозных клеток. Горизонтальные и амакринные клетки сетчатки рассматриваются как промежуточные пункты центробежных волокон, через которые осуществляется влияние обратной связи на основные рабочие элементы сетчатки: фоторецепторы и ганглеозные клетки. На связь центробежных волокон с амакринными клетками указывали ряд исследователей [3]. Чтобы выяснить, каким образом обратная связь регулирует режим работы фоторецепторов и ганглеозных клеток, попытаемся представить механизм воздействия этой связи на фоторецепторы. В темноте, когда отсутствует внешняя афферентация, группы клеток «А» ретикулярной системы, ориентированные через свои центробежные волокна на горизонтальные клетки, а через них на фоторецепторы, создают активность генерации в виде импульсации  $I_0$ . Под действием генерирующей импульсации поддерживается исходный тонический уровень фоторецепторов, в соответствии с которым их длина  $l$  и величина зазора  $\Delta$  между дисками наружного сегмента определяется этой исходной импульсацией, т. е. имеет место зависимость:

$$\Delta = f(1/I_0); \quad l = f(1/I_0). \quad (1)$$

В свою очередь, пороговая чувствительность фоторецепторов, по видимому, зависит от  $\Delta$  и  $l$ , т. е.

$$S_{\text{пор}} = f(1/\Delta l) = f(I_0). \quad (2)$$

С учетом выражения (2) можно предположить, что порог чувствительности фоторецепторов — динамический параметр, который автоматически изменяется в зависимости от окружающего фона: создающего в цепи обратной связи нервную импульсацию  $I_i$ . При этом может быть два варианта: сигнал внешней афферентации  $I_{a1}$ , приходящий от сетчатки к клеткам ретикулярной системы тормозит их активность и тогда в цепи обратной связи возникает сигнал  $I_i < I_0$ , либо, наоборот, повышает их активность и  $I_i > I_0$ . Поскольку с увеличением яркости окружающего фона фоторецепторы сокращаются, а с выхода сетчатки  $I_{a1}$  возрастает к клеткам р

тикулярной системы поступает большой сигнал, то выходной сигнал ретикулярной системы  $I_i$ , очевидно, меньше  $I_0$ .

Указанные механизмы изменения порога фоторецепторов не рассматриваются с биохимической точки зрения. Нас интересует лишь система управления, а точнее, принцип регуляции чувствительности сетчатки в зависимости от яркости окружающего фона. Предложенная схема, на наш взгляд, позволяет ответить на ряд вопросов, связанных с адаптацией сетчатки и с теми ретиномоторными процессами, о которых говорилось выше. Обратная связь регулирует также плавный переход от дневного к сумеречному зрению и наоборот, причем этот процесс совершается произвольно, путем изменения величины обратной связи пропорционально изменению яркости окружающего фона. В данном случае имеет место замкнутая система регуляции, близкая по своему принципу действия к контуру регулирования зрачкового рефлекса (рис. 1). Но в процессе перехода от дневного к сумеречному зрению представляет интерес механизм постепенного выключения из работы одних рецепторов и подключения других. С учетом предложенной точки зрения механизма возникновения генераторного потенциала непрерывным условием работы фоторецептора предполагается наличие контакта между торцевой поверхностью его наружного сегмента и поверхностью клетки пигментного эпителия. Нарушение этого контакта делает невозможным возбуждение фоторецептора, что подтверждается также клиническими данными, связанными с отслойкой сетчатки. Происходит нарушение контакта сетчатки с пигментным эпителием, который при отслойке сетчатки, как правило, остается связанным с сосудистым слоем глаза — хориоидеей. Зрительная функция падает до слепоты. Восстановление же этого контакта возвращает индивиду его зрительную способность, правда, в более низкой форме. Заметим, что необходимостью контакта фоторецепторов с поверхностью клеток пигментного эпителия, без которого невозможен зрительный процесс, объясняется целесообразность инвертированного строения сетчатки глаза человека. Поэтому вполне справедливо замечание В. И. Поспишила [8]: «Пока мы представляли, что они (палочки и колбочки) чувствительны к свету, их положение казалось бессмысленным. Но ошибка была в наших представлениях о процессе зрения. Положение палочек и колбочек вполне целесообразно, если мы знаем, что они являются щупальцами, ошупывающими пигмент и реагирующими на те места пигментной оболочки, куда падает свет». Поспишил рассматривал иначе, чем мы, взаимодействие света с фоторецепторами. Однако его замечание относительно функциональной целесообразности инвертированного строения сетчатки в отличие от общепринятой точки зрения кажется нам вполне логичным. Мы склонны предположить, что механизм перехода от дневного к сумереч-

ному зрению, и наоборот, связан с нарушением указанного контакта вследствие изменения длины фоторецепторов (из-за их сокращения или расслабления), определяемой величиной обратной связи и высотой клеток пигментного эпителия.

Таким образом, мобильность сетчатки — это не что иное как динамический процесс, связанный с большим или меньшим числом рецепторов, находящихся в контакте с поверхностью клеток пигментного эпителия и при деформации которых под действием импульса фотонов происходит деформация рецепторов вдоль их продольной оси. При больших световых потоках, воздействующих на глаза, клетки пигментного эпителия должны деформироваться. Иначе говоря, их высота должна уменьшаться. В этом случае фоторецепторы, которые до деформации клеток пигментного эпителия, например в сумерках, своими торцевыми участками касались поверхности клеток пигментного эпителия, при деформированном пигментном эпителии они уже не касаются его поверхности и, следовательно, выключены из работы. В данном случае восстановление и нарушение контакта происходит при одновременном изменении длины фоторецепторов и высоты клеток пигментного эпителия. Причем длина фоторецепторов изменяется в соответствии с рассмотренной схемой иннервации и имеет в своей основе нервную природу. Вероятно на этой же основе происходит и регуляция толщины пигментного эпителия, а точнее высоты его отдельных клеток. Обнаружено ритмическое перемещение пигмента сетчатки в течение дня [2]. Напомним, что мобильность сетчатки, описанная в работе [2], также характеризуется ритмичностью с точки зрения ее конструктивных изменений и чувствительности. Более того «зрительная функция, — подчеркивал П. Г. Снякин, — изменяется в зависимости от времени дня даже в тех случаях, когда испытуемый объект был изолирован в продолжение дня от естественного освещения» [2, с. 11]. Предположим, что регуляция рассмотренных параметров, связанных с ретиномоторным процессом, имеет двойной характер. С одной стороны, она подчиняется собственному суточному ритму ретикулярной системы в том числе и той группы клеток, обратные связи от которой в виде центробежных волокон воздействуют на сетчатку. С другой — величина ритма находится под постоянным контролем окружающего светового фона, накладывающего на суточный биоритм коррективы, адекватно отражающие на данный момент внешнее воздействие. Она как бы модулируется афферентной импульсацией:

$$I_{pi} = I_{opt} - I_{ai} \text{ или } f_{pi} = k/f_{ai},$$

где  $I_{opt}$  — эфферентная импульсация группы клеток ретикулярной системы, определяющей суточный биоритм обратной связи, а  $f_{pi}$  — ее средняя частота;  $I_{ai}$  — афферентная импульсация, под воздействием которой изменяется величина  $I_{opt}$ ,  $f_{ai}$  — ее средняя частота.

Схематично процесс изменения обратной связи в центробежных волокнах сетчатки и в центробежных волокнах глазодвигательной системы под воздействием внешней афферентации можно представить, как показано на рис. 1. Нас интересует иннервация сетчатки, определяемой собственным ритмом группы клеток ретикулярной системы без непосредственного влияния внешней афферентации. Интересно оценить изменение мобильности сетчатки в переходный период и последующее время при скачкообразном воздействии внешней афферентации. Подобный переходный процесс — влияние внешней афферентации на исходный уровень генерации нервной импульсации  $I_{opt}$  ретикулярной системы трудно обнаружить непосредственно на сетчатке глаза. Подобную закономерность мы попытались проследить на примере глазодвигательной системы (ГДС) и, в частности, на ее подсистеме, ведающей произвольными саккадическими движениями глаз (см. [9]). Ранее нами показано, что центром генерации произвольных саккадических движений (НСД) глаз, характерных для фиксационного рефлекса, является группа клеток ретикулярной системы (обозначим в виде «Б»). Режим работы подсистемы (ГДС) в темноте можно принять для данного временного момента исходным, определяемым биоритмом группы клеток ретикулярной системы. Этот режим как бы полностью определяется собственной генерацией данных клеток без влияния на них внешнего воздействия и для него значение  $I_{at}$  равно шумовой импульсации на участке пути — от сетчатки до ретикулярной системы. На рис. 2, а представлены результаты изменения произвольных саккадических движений глаз при скачкообразном переходе от фиксации точки к полной темноте (1), и обратно, для разных индивидов. При фиксации точки разной яркости (а — 0,3 нт; б — 92 нт; в — 2500 нт) и разных угловых размеров (2 — 2 угл. мин и 3 — 5 угл. мин); при фиксации точки и изменении окружающего фона от полной темноты до яркости в 150 нт (4) и при отсутствии фиксационной точки (5); при фиксации точки до умственной нагрузки разной формы (6, 8) и при наличии умственной нагрузки (7, 9) у разных индивидов. НСД глаз изменяются существенно, и можно согласиться с тем, что справедливость предложенной на рис. 1 схемы регуляции сетчатки в определенной степени доказывается этими экспериментальными результатами. Еще более наглядное воздействие внешней афферентации на активность группы клеток «Б» может быть подтверждено изменением НСД глаз при фиксации различных по яркости точек (рис. 2, б). На группы клеток ретикулярной системы оказывалось различное по значению влияние внешней афферентации. Судя по приведенным на рис. 2 записям, создается впечатление, что внешняя афферентация оказывает тормозящее влияние на активность группы клеток «Б» ретикулярной системы. И, наконец, сходная,

на наш взгляд, с явлением мобильности сетчатки закономерность изменения НСД глаз, полученная у одного и того же испытуемого в течение суток, года. Как оказалось, средний вре-

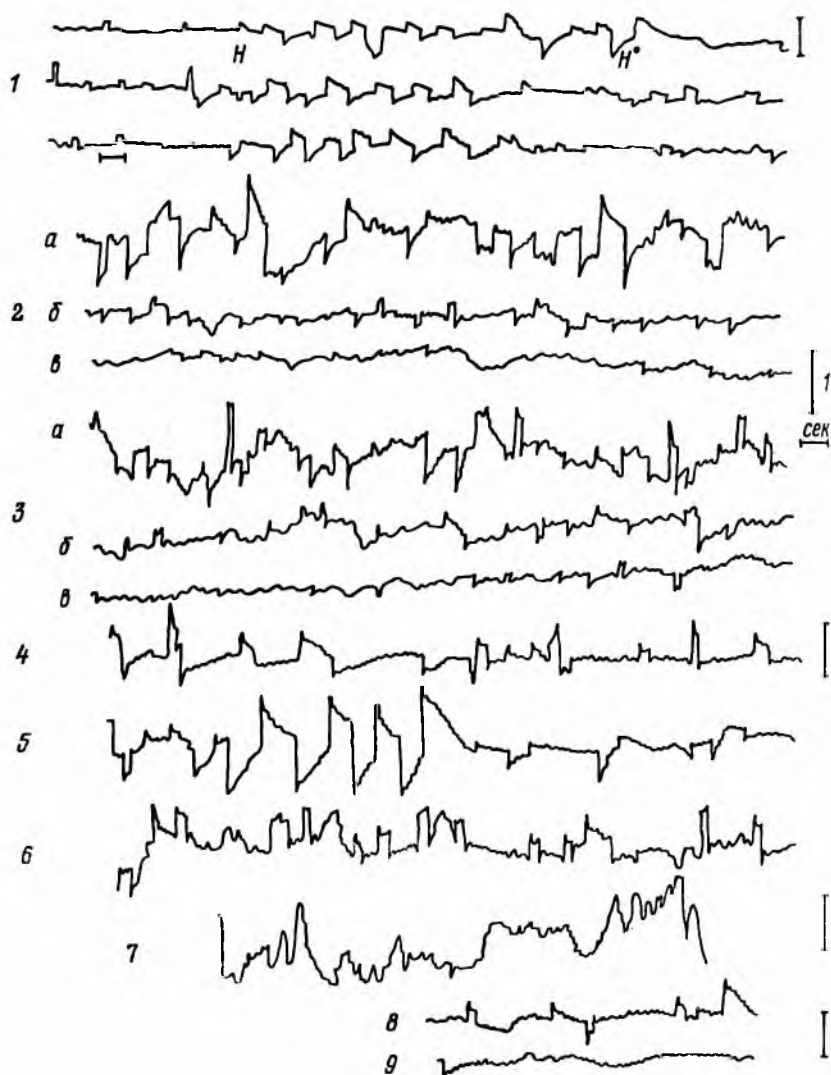


Рис. 2

менной интервал между НСД глаз варьировал на 20—30%. Эту вариабельность можно рассматривать как адекватное отражение вариабельности суточного или годового биоритма группы

клеток ретикулярной системы. Колебание же амплитуды скачков, вероятно, происходит из-за флюктуаций внешней афферентации и, как следствие этого, величины обратной связи центробежных волокон.

Рассмотренные виды проявления обратной связи со стороны ретикулярной системы на сетчатку и другие подсистемы зрительного анализатора, в том числе и на подсистему НСД глаз глазодвигательной системы в форме суточного биоритма, промодулированного внешней афферентацией, очевидно, составляют только часть ее воздействия на зрительную систему. Результаты исследований, полученные при регистрации НСД глаз во время умственной нагрузки [9], позволяют предположить, что активность ретикулярной системы может иметь и мобилизационный потенциал, которым характеризуется эта система, в отдельных случаях может форсироваться на преимущественную активность той или иной системы мозга. Так, сравнение записей НСД глаз просто при фиксации точки и при фиксации точки с одновременным выполнением умственной нагрузки в виде решения арифметических задач показывает, что в последнем случае уменьшается число произвольных скачков, их амплитуда и стабилизируется дрейф глаза. Эти данные неоспоримо указывают на уменьшение активности группы клеток ретикулярной системы по отношению к опекаемой ими подсистеме НСД глаз и преимущественную мобилизацию активности ретикулярной системы на участке мозга, ответственном за обеспечение решения арифметических задач. Обратная связь со стороны ретикулярной системы, несомненно, проявляется и на сетчатке глаза. Надо полагать, что действие ретикулярной системы через строго дифференцированные группы клеток или ядра осуществляется синхронно на сетчатку и подсистему НСД глаз, создавая одновременно регуляцию чувствительности сетчатки, временных и амплитудных показателей НСД глаз. В конечном итоге при такой регуляции расширяется динамический диапазон зрительной системы и исключается перегрузка ее звеньев. Кроме того, уменьшение амплитуды НСД глаз при больших значениях внешней афферентации непосредственно связано с сетчаткой и, в частности, с уменьшением ее рецептивных полей. Таким образом, регуляцию сетчатки через обратную связь нельзя рассматривать как локальное явление, а, наоборот, ее следует оценивать во взаимосвязи с одновременной регуляцией других подсистем зрительного анализатора, в том числе и подсистемой НСД глаз. Можно предположить, что одновременное действие обратной связи со стороны ретикулярной системы осуществляется и на кортикальные элементы зрительных центров и прежде всего нейронов поля, тем более, как указывалось, подобная взаимосвязь имеется. Роль этой обратной связи должна сводиться к регуляции чувствительности указанных элементов, а по функциональному назначению она анало-

гична роли обратной связи сетчатки. Итак, внешняя афферентация, поступающая к ретикулярной системе через обратные связи, одновременно воздействует на ряд подсистем зрительного анализатора, а характер воздействия, по-видимому, аналогичен по своему принципиальному значению обратной отрицательной связи в технических системах.

**Список литературы:** 1. *Ананин В. Ф.* Биотехнический подход к исследованию механизмов кодирования внешнего стимула в сетчатке глаза человека и их роль в зрительном процессе. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 18, с. 61—70. 2. *Снякин Н. Г.* Функциональная мобильность сетчатки. М., Медгиз, 1948. 222 с. 3. *Школьник-Яррос Е. Г.* Нейроны и межнейронные связи. Зрительный анализатор. Л., Медицина, 1965. 227 с. 4. *Engelmann T. W., Pflüg.* — Arch. ges. Physiol., 1885, Bd. 35, S. 498. 5. *Szentagothai I.* — Arch. f. Psychiatz, 1943, Bd. 116, № 4, S. 721—760. 6. *Саркисов С. А.* Очерки по структуре и функции мозга. М., Медицина, 1964. 229 с. 7. *Хянанашвили М. М.* Общее функциональное состояние (тонус) головного мозга. — Физиол. журн. СССР, 1970, т. 56, № 11, с. 1513—1521. 8. *Поспишил В. И.* Каким образом свет действует на палочки сетчатки? — Проблемы физиол. оптики. М., Изд-во АН СССР, 1950, т. 9, с. 20—31. 9. *Ананин В. Ф.* О механизме и роли непроизвольных саккадических движений глаза в зрительном процессе. — Физиология человека, 1976, т. 2, № 5, с. 751—756.

*Поступила 6 апреля 1978*

УДК 51 : 681.3.06

*С. К. КОЛУБАЙ*

## **О СТЕПЕНИ ОБЩНОСТИ МК-ПРОГРАММ. Сообщение 1**

Организация вычислительного процесса в современных вычислительных машинах, сохранивших, в основном, пятиблочную структуру фон-неймановской машины [1], очень сильно отличается от той организации вычислительного процесса человеком (испытуемым), которую, например, можно наблюдать в следующем эксперименте. Испытуемому (заметим, что испытуемый должен обладать соответствующими навыками) предлагается описание некоторого численного метода решения задачи и соответствующая совокупность исходных величин. От испытуемого требуется найти определенную совокупность заключительных величин (результатов). Например, ему предлагается метод Гаусса с выбором главного элемента для решения систем линейных алгебраических уравнений и соответствующая матрица значений коэффициентов и правых частей системы. В данном случае требуется решить предложенную систему, т. е. получить значения неизвестных [2].

Модель организации вычислительного процесса испытуемым, полученная в результате наблюдения за его действиями, может быть описана следующим образом. Пусть  $M$  — множество описаний методов, доступных испытуемому в соответствии с его навыками (квалификацией);  $S$  — совокупность всех возможных множеств величин (исходных, промежуточных, заключительных) для методов из  $M$ ;  $D$  — множество, состоящее из множеств единиц действия, которые в соответствии с описаниями методов применяются к исходным и промежуточным величинам для получения новых промежуточных величин или заключительных.

Отображение  $\alpha: M \times S \rightarrow D$  определяет для любой пары  $(M, S)$  множество  $\alpha(M, S) \in D$  ( $M \in M, S \in S$ ) всех возможных единиц действия, которые могут быть применены к величинам из  $S$ . Отображение  $\beta: D \times S \rightarrow S$  определяет систему величин  $\beta(D, S) \in S$ , получаемых в результате применения действий из  $D$  к системе величин  $S$ .

Процесс получения последующих систем величин исходя из начальной системы величин  $S_n \in S$  при некотором фиксированном методе  $M \in M$  может быть описан следующей индуктивной процедурой:

1. Система величин  $S_1$  на первом шаге равна начальной,  $S_1 = S_n$ .

2. Пусть  $S_1, S_2, \dots, S_i$  — системы величин, полученные на предыдущих  $i$  шагах. Система величин на шаге  $i + 1$  определяется соотношением:  $S_{i+1} = \beta\left(D, \bigcup_{k=1}^i S_k\right)$ , где  $D \subseteq \alpha\left(M, \bigcup_{k=1}^i S_k\right)$  — совокупность действий, которые испытуемый произвольным образом выбирает из множества всех возможных действий на этом шаге.

Совокупность  $S_3$  заключительных величин (результатов) выбирается из системы величин  $\bigcup_{k=1}^n S_k$  такой, что  $\alpha\left(M, \bigcup_{k=1}^n S_k\right) = \emptyset$ .

Отметим одну наиболее существенную особенность описанной модели организации вычислительного процесса испытуемым. На каждом  $i$ -м ( $i > 1$ ) шаге множество действий  $D$ , применяемых к системе величин  $\bigcup_{k=1}^{i-1} S_k$  выбирается из однозначно определяемого множества  $\alpha\left(M, \bigcup_{k=1}^{i-1} S_k\right)$  всех действий на  $i$ -м шаге.

В работах [3, 4] предложен подход к построению внутреннего языка и структуры вычислительной системы, в которой организация вычислительного процесса приближается к описанной модели в следующем смысле. При выполнении программ на предложенном внутреннем языке (МК-программ) в каждый из моментов времени определяется множество команд, готовых к выполнению, и затем включается на выполнение некоторое подмножество этих команд в соответствии с доступными

ресурсами вычислительной системы. Выполнение МК-программ, записанных на внутреннем языке из работы [3], имеет еще одну характерную особенность. Эта особенность состоит в том, что каждая команда МК-программы может быть исполнена только один раз, т. е. после выполнения команды считается, что она как бы «самоуничтожилась». Эта особенность привела к тому, что на внутреннем языке стали возможны только программы без циклов. Однако несмотря на отсутствие циклов на внутреннем языке вычислительной системы возможно такое построение входного языка (может быть непосредственно интерпретируемого системы), программы на котором могут определять вычисление значений достаточно большого класса функций. Например, вычисление значений любой частично рекурсивной функции. Доказательство выдвинутого предположения составляет одну из целей настоящей работы.

Характерной особенностью МК-программ является представление их в виде множества команд со связями по данным управлению. Возможны различные варианты (версии) МК-программ, отличающиеся между собой по способу задания связей между командами. Например, связи могут задаваться при помощи специальных меток (адресов, номеров), которыми снабжаются команды программы, либо непосредственно именам переменных (адресами) в командах программы.

Поскольку МК-программы рассматриваются как программы на внутреннем языке вычислительной системы (машины), то каждая их версия может выполняться только в соответствующей машине. Наиболее полная реализация возможностей, представляемых МК-программами, достигается только в асинхронных параллельных вычислительных машинах, являющихся, по видимому, наиболее перспективными в настоящее время [5].

Интересно сравнить между собой асинхронные параллельные вычислительные машины для различных версий МК-программ а также с машинами для последовательных, параллельных асинхронных программ, известных в настоящее время.

Все перечисленные выше вопросы и составляют основную цель исследования степени общности МК-программ. Представляется удобным провести исследование, рассматривая вычислительную машину как преобразователь (автомат без выходов) который каждой паре (программа, начальное состояние памяти) однозначно ставит в соответствие некоторое заключительное состояние памяти. Конструктивное задание этого соответствия есть универсальный алгоритм, реализуемый данной машиной, а процесс применения его к паре (программа, начальное состояние памяти) — выполнение программы [6].

Цель исследования достигается путем построения и сравнения между собой различных моделей вычислительных машин (последовательных, параллельных, асинхронных). Каждая последующая модель вычислительной машины строится на основе

предыдущих. Исходной является модель последовательной машины, которая вводится в настоящем сообщении и несколько отличается от соответствующих моделей из работ [6, 7].

В следующем сообщении рассматривается модель асинхронной однопроцессорной машины для МК-программ, допускающих повторное выполнение команд, т. е. циклы. Затем рассматриваются модели однопроцессорных и параллельных асинхронных машин для различных версий МК-программ. Все эти машины сравниваются между собой и с моделями известных в настоящее время машин.

**Вычислительной машиной** (или просто *машиной*) называется тройка  $C = \langle P, X, \alpha \rangle$ , где  $P$  — множество всех программ,  $X$  — пространство состояний памяти и  $\alpha: P \times X \rightarrow X$  — отображение, однозначно ставящее в соответствие каждой паре  $(P, X)$  ( $P \in P, X \in X$ ) некоторое *заключительное* состояние памяти  $\alpha(P, X) \in X$ . Задать машину — это значит дать конструктивное описание каждого из элементов тройки.

Рассмотрим последовательную машину  $C^q = \langle P^q, X^q, \alpha^q \rangle$ . *Памятью* называется конечное множество переменных (*элементов* памяти). Каждой переменной соответствует определенное конечное множество, называемое областью значений переменной. Пространством  $X^q$  состояний памяти называется декартово произведение областей значений элементов памяти.

Однозначные отображения пространства состояний  $X^q$  в себя называются *операторами* [7]. Среди всего множества операторов выделяются включаемые в систему команд машины  $C^q$ . Эти преобразования называются *командами обработки*.

*Условиями* (см. [7]) называются однозначные отображения  $X^q$  в двухэлементное множество  $\{и, л\}$  ( $и, л$  — логические значения истины и лжи соответственно). Некоторые условия также включаются в систему команд машины  $C^q$  и называются *командами сравнения*.

Система команд  $K^q$  есть объединение  $K^q = K^p \cup K^c$ , где  $K^p$  — множество всех команд обработки, а  $K^c$  — команд сравнения.

Основная идея построения *последовательной* программы  $\rho \in P^q$  состоит в следующем. Выбирается достаточно большое множество меток (адресов), которыми помечаются все команды программы так, что любые две команды одной программы помечаются разными метками. Затем к каждой паре (метка, команда) добавляется третья компонента, являющаяся меткой команды, выполняемой после данной. Среди всего множества адресов выделяется *адрес точки входа* — адрес первой исполняемой команды.

Не уменьшая общности построений в качестве множества меток, может быть выбрано достаточно большое множество целых чисел  $Z = \{\pm 1, \pm 2, \dots, \pm m\}$ . Основным элементом программы является *инструкция*, представляющая собой элемент декартового произведения  $B = Z \times K^q \times Z$ .

Компоненты инструкции  $b = (i, k, j) \in B$  обозначим  $b^i, b^k, b^j$ , а их значения — соответственно  $b^i, b^k, b^j$  (т. е.  $b^i = i, b^k = k, b^j = j$ ). Здесь  $b^i$  называется *адресом команды*  $b^k$ , а  $b^j$  — *адресом следующей команды*.

Пусть  $B!$  — множество всех подмножеств множества  $B$ . В декартовом произведении  $B! \times Z$  выделяется множество всех *текстов*  $T^q$ :

$$T^q = \{(\tilde{T}, z) \in B! \times Z \mid \forall (a, b \in \tilde{T}) (a \neq b \Rightarrow a^i \neq b^i) \ \& \ \exists (a \in \tilde{T}) (z = a^j)\}.$$

Каждый текст  $T$  является такой парой  $T = (\tilde{T}, z)$  ( $\tilde{T} \in B!, z \in Z$ ), что множество  $\tilde{T}$  инструкций не содержит двух инструкций с одинаковыми значениями первых компонент и значение числа  $z$  равно адресу одной из команд программы. Число  $z$  называется *адресом точки входа*.

Множество  $P^q$  всех программ машины  $S^q$  является подмножеством множества  $T^q$ ,  $P^q \subseteq T^q$ . Таким образом, синтаксически *последовательная программа* (программа для машины  $S^q$ ) состоит из множества  $\tilde{T} \in B!$  инструкций, удовлетворяющего условию  $\forall (a, b \in \tilde{T}) (a \neq b \Rightarrow a^i \neq b^i)$ , и некоторого адреса точки входа  $z \in Z$ .

С каждой машиной  $S = \langle P, X, \alpha \rangle$  связывается понятие об *универсальном алгоритме*  $A$ , под которым понимается конструктивное задание отображения  $\alpha : P \times X \rightarrow X$ . Процесс применения алгоритма к паре  $(P, X)$  ( $P \in P, X \in X$ ) называется *выполнением программы*  $P$  при начальном состоянии памяти  $X$  [6]. Этот процесс обрывается на определенном шаге. Заключительное состояние памяти равно  $\alpha(P, X)$  и обозначается через  $A(P, X)$ .

Поскольку выполнение любой программы  $P$  при всяком начальном состоянии  $X$  памяти однозначно определяет заключительное состояние  $A(P, X)$ , сама программа может рассматриваться как конструктивное задание некоторого оператора. В этом смысле заключительное состояние памяти  $A(P, X)$  можно обозначить как  $P(X)$ .

**Универсальный алгоритм  $A^q$  последовательной машины  $S^q$**  описывается в виде процедуры на несколько измененной публикационной версии языка программирования весьма высокого уровня Сетл [8]. Использование языка Сетл обусловлено стремлением иметь точный и достаточно строгий аппарат для описания абстрактных алгоритмов, сочетающийся с «высокой информативностью выражений, большой наглядностью и удобством пользования» [8]. Дополнительные изменения публикационной версии языка Сетл обусловлены стремлением к дальнейшему увеличению наглядности Сетл-предложений, касаются исключительно лексики

языка и состоят в следующем: 1) ключевые слова записываются строчными буквами полужирным шрифтом, например, **проц**, **если**, **то** и т. д.; 2) допускается использование однозначно понимаемых произвольных обозначений для имен, например,  $\tilde{P}$ ,  $z$ ,  $a$  и т. п. вместо имен типа ПЭСТИЛЬДОЙ, ЗЕТ, АЛЬФА соответственно; 3) если компоненты набора (кортежа) имеют характерные имена (обозначения), то допускается использование их в предложениях вместо ссылки по имени набора с номером компоненты. Например, компоненты набора  $b = (b^i, b^k, b^l)$  могут указываться как  $b^i, b^k, b^l$  вместо  $b [1], b [2], b [3]$  соответственно.

Выполнение последовательной программы  $P = (\tilde{P}, z)$  при начальном состоянии  $X$  памяти состоит из актов выполнения отдельных инструкций программы и актов поиска следующей инструкции. Акты выполнения и поиска описываются Сетл-процедурами: выполнение = **проц** ( $b, X$ ); **если**  $b^k \in K^c$  **то** (**если**  $b^k(X) = л$  **то**  $b^l = -b^l$ ) **иначе**  $X = b^k(X)$ ; поиск = **проц** ( $\tilde{P}, n, b, v$ ); **если**  $\exists a \in \tilde{P} \mid a^l = n$  **то**  $b = a$  **иначе**  $v = 0$ ; ;.

Универсальный алгоритм выполнения программы  $P = (\tilde{P}, z)$  при начальном состоянии  $X$  памяти описывается процедурой: алгоритм = **проц** ( $P, X$ );  $v = 1$ ; поиск ( $\tilde{P}, z, b, v$ ); **пока**  $v \neq 0$ : : выполнение ( $b, X$ ); поиск ( $\tilde{P}, b^l, b, v$ ); ; ;.

Таким образом, как следует из процедуры «алгоритм», счет любой программы прекращается в тот момент, когда в результате выполнения некоторой ее инструкции  $b$  имеет место:

$$\forall (a \in \tilde{P}) (a^i \neq b^i).$$

Рассмотрим свойства последовательной машины. Процесс выполнения программы при любом начальном состоянии памяти  $X$  конечен и может быть охарактеризован словом  $X_0 X_1 \dots X_n$  таким, что  $X = X_0, X_n = Y = A^q(P, X)$ , а каждое промежуточное состояние  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$  получается из состояния  $X_{i-1}$  при выполнении очередной команды  $b^k \in K^p$ .

Слово  $X_0 X_1 \dots X_n$  называется *процессом в пространстве состояний* (или просто *процессом*), порожденным при выполнении программы  $P$ , и обозначается  $X_0 \xrightarrow{P} X_n$  или  $X \xrightarrow{P} Y$ .

Предложение 1. Всякий процесс  $X \xrightarrow{P} Y$  однозначно определяется начальным состоянием памяти  $X$ .

Действительно, для любой программы  $P$  выполняется условие  $\forall (a, b \in \tilde{P}) (a \neq b \Rightarrow a^i \neq b^i)$ , так как всякая программа является текстом. Поэтому процедура поиска при каждом  $n \in Z$  имеет результат, который однозначно определяется числом  $n$ : либо будет найдена единственная инструкция  $b \in \tilde{P}$ , такая, что

$b^i = n$ , либо переменная  $v$  получит значение, равное нулю. В первом случае после выполнения найденной инструкции вновь повторится процедура поиска, а во втором — счет программы прекращается. Поиск инструкции и результат выполнения ее — однозначны, поэтому весь процесс  $X \xrightarrow{p} Y$  однозначно определяется начальным состоянием памяти  $X$ . Предложение доказано.

Универсальный алгоритм  $A^q$  может быть применен к паре  $(T, X)$  ( $T \in T^q$ ,  $X \in X^q$ ) и в том случае, если неизвестно заранее, является ли текст  $T$  программой или нет.

Предложение 2. Произвольный текст  $T \in T^q$  является программой тогда и только тогда, когда при любом начальном состоянии  $X$  памяти процесс применения универсального алгоритма  $A^q$  к паре  $(T, X)$  на некотором шаге прекращается.

Действительно, из однозначности выполнения: 1) процедуры поиска (см. доказательство предложения 1) и 2) команд инструкций следует, что заключительное состояние однозначно определяется парой  $(T, X)$  и равно  $A^q(T, X)$ . Поэтому текст  $T$  — программа, т. е.  $T \in P^q$  и  $\alpha^q(T, X) = A^q(T, X)$ .

Если же процесс применения универсального алгоритма при начальном состоянии памяти  $X$  ни на каком шаге не прекращается, то заключительное состояние памяти является неопределенным, а значит, текст  $T$  не является программой. Предложение доказано.

Список литературы: 1. Рекурсивные машины и вычислительная техника В. М. Глушков, М. Б. Игнатьев, В. А. Мясников, В. А. Торгашев — Препринт № 74—57. Киев, ИК АН УССР, 1974. 23 с. 2. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений, том 1. М., Наука, 1966. 632 с. 3. Колубай С. К. Об одном подходе к построению внутреннего языка вычислительной системы. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979, вып. 22, с. 33—37. 4. Колубай С. К. Параллельная вычислительная система для МК-программ. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979, вып. 23, с. 85—92. 5. Марчук Г. И., Котов В. Е. Модульная асинхронная развиваемая система (концепция). Часть 2. — Препринт № 87. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1978. 52 с. 6. Еришов А. П., Ляпунов А. А. О формализации понятия программы. — Кибернетика. Киев 1967, № 5, с. 40—57. 7. Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Е. Л. Алгебра, языки, программирование. Киев, Наукова думка, 1974. 328 с. 8. Левин Д. Я. Сетл — язык программирования весьма высокого уровня. — Программирование. М., 1976, № 5, с. 3—9.

Поступила 19 июля 1978 года

УДК 51 : 681.3.06

С. К. КОЛУБАЙ

## О СТЕПЕНИ ОБЩНОСТИ МК-ПРОГРАММ. СООБЩЕНИЕ 2

В статье [1] рассмотрена модель последовательной машины описано множество всех ее программ и универсальный алгоритм их выполнения. В настоящей работе строится модель асин

хронной машины, являющейся формальным эквивалентом одно-процессорной параллельной вычислительной системы [2] для выполнения МК-программ. Рассматривается множество всех асинхронных программ и универсальный алгоритм асинхронной машины.

Асинхронной машиной называется тройка  $C^r = \langle P^r, X^r, \alpha^r \rangle$ , где  $P^r$  — множество всех программ,  $X^r$  — пространство состояний памяти и  $\alpha^r: P^r \times X^r \rightarrow X^r$  — отображение, ставящее в однозначное соответствие каждой паре  $(P, X)$  ( $P \in P^r$ ,  $X \in X^r$ ) некоторое заключительное состояние памяти  $\alpha^r(P, X)$ .

Асинхронная машина  $C^r$  строится на основе модели последовательной машины  $C^q$ , введенной в работе [1], в том смысле, что пространство  $X^r$  состояний памяти и система  $K^r$  команд машины  $C^r$  совпадает с соответствующими элементами  $C^q$ , т. е.  $X^r = X^q$  и  $K^r = K^q$ .

Основная идея построения асинхронной программы  $P \in P^r$  состоит в следующем. Выбирается некоторое достаточно большое конечное множество меток (номеров), которыми помечаются все команды (различные команды могут быть помечены одинаковыми метками). Затем к каждой паре (метка, команда) добавляются еще две (третья и четвертая) компоненты, являющиеся метками тех команд, результаты которых использует данная. К командам, выполняемым независимо от каких-либо других команд, добавляются третья и четвертая компоненты, не представляющие собой номер какой-либо команды программы. Среди третьих и четвертых компонент выделяется номер, называемый номером точек входа.

Не изменяя общности построений, в качестве множества меток (номеров) можно выбрать достаточно большое множество целых чисел  $Z^0 = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm m\}$ . В множестве  $Z^0$  выделяется подмножество без нуля  $Z = Z^0 \setminus \{0\}$ . Любой элемент декартового произведения  $B = Z \times K^r \times Z^0 \times Z^0$  называется инструкцией (основной элемент асинхронной программы).

Компоненты инструкции  $b = (i, k, j, l)$  обозначим как  $b^i, b^k, b^j, b^l$ , а их значения — соответственно  $b^i, b^k, b^j, b^l$  (т. е.  $b^i = i, b^k = k, b^j = j, b^l = l$ ). При этом  $b^i$  называется номером команды  $b^k$ , а  $b^j, b^l$  — номерами предшествующих команд.

Пусть  $B!$  — множество всех подмножеств множества  $B$ . В декартовом произведении  $B! \times Z^0$  выделяется множество всех текстов  $T^r$  асинхронной машины:

$$T^r = \{(\tilde{T}, z) \in B! \times Z^0 \mid \forall (a \in \tilde{T}) (a^i \neq 0 \vee a^l \neq 0)\}.$$

Каждый текст  $T$  есть пара  $(\tilde{T}, z)$  ( $\tilde{T} \in B!, z \in Z^0$ ) такая, что множество  $\tilde{T}$  не содержит ни одной инструкции с компонентами  $a^i$  и  $a^l$ , одновременно равными нулю. Число  $z$  называется номером точек входа.

Множество всех программ  $P'$  машины  $S'$  является подмножеством множества  $T'$  всех текстов,  $P' \subseteq T'$ . Таким образом, синтаксически *асинхронная программа* (программа для машины  $S'$ ) состоит из некоторого множества  $\tilde{P} \in B^I$  инструкций, удовлетворяющего условию

$$\forall (a \in \tilde{P}) (a' \neq 0 \vee a' \neq 0), \quad (1)$$

и какого-либо номера точек входа  $z \in Z^0$ .

Универсальным алгоритмом  $A'$  асинхронной машины  $S'$  называется конструктивное задание отображения  $\alpha: P' \times X' \rightarrow X'$ . Описание алгоритма приводится на несколько измененной публикационной версии языка программирования весьма высокого уровня — Сетл [1].

При выполнении асинхронной программы  $P = (\tilde{P}, z)$  (т. е. в процессе применения универсального алгоритма  $A'$  к ней) с каждой инструкцией  $a \in \tilde{P}$  связывается понятие о ее состоянии.

Каждая инструкция из  $\tilde{P}$  в любой момент времени выполнения программы находится только в одном из двух состояний: НЕ ГОТОВА или ГОТОВА.

Состояние инструкции определяется следующим образом.

Между множеством  $\{a', a' \mid a \in \tilde{P}\}$  и некоторым множеством переменных  $V_1$  устанавливается взаимно однозначное соответствие  $\eta$ , такое, что  $\eta(a') = v_a'$  и  $\eta(a'') = v_a''$  ( $v_a', v_a'' \in V_1$ ). Между множеством  $\tilde{P}$  инструкций программы и некоторым множеством переменных  $V_2$  устанавливается взаимно однозначное соответствие  $\theta$ , такое, что  $\theta(a) = v_a \in V_2$ . Причем пересечение  $V_1$  и  $V_2$  — пусто. Переменные из множеств  $V_1$  и  $V_2$  принимают значения в двухэлементном множестве  $\{0, 1\}$ . Инструкция  $a \in \tilde{P}$  находится в состоянии НЕ ГОТОВА, если  $v_a = 0$ ; в состоянии ГОТОВА, если  $v_a = 1$ .

До выполнения программы  $P = (\tilde{P}, z)$  устанавливаются начальные значения всех переменных  $v_a', v_a'', v_a$ . Их установка для некоторой инструкции  $a \in \tilde{P}$  описывается Сетл-процедурой: начальное = проц ( $a, v_a', v_a'', v_a$ ); если  $a' = 0$  то  $v_a' = 1$  иначе  $v_a' = 0$ ; если  $a'' = 0$  то  $v_a'' = 1$  иначе  $v_a'' = 0$ ; если  $v_a' = 1$  &  $v_a'' = 1$  то  $v_a = 1$  иначе  $v_a = 0$ ;;. Начальные значения всех переменных из множеств  $V_1$  и  $V_2$  устанавливаются в результате выполнения процедуры «начальное» для каждой инструкции асинхронной программы и соответствующих ей переменных.

Поскольку множество инструкций  $\tilde{P}$  программы удовлетворяет условию (1), то значение одной из переменных  $v_a'$  или  $v_a''$

любой инструкции равно нулю. В результате значение каждой переменной  $v_a$  равно нулю. Таким образом, после установки начальных значений всех переменных, все инструкции асинхронной программы будут находиться в состоянии НЕ ГОТОВА, называемое *начальным состоянием* программы.

Выполнение асинхронной программы  $P = (\tilde{P}, z)$  при начальном состоянии памяти  $X \in X'$  состоит из актов выполнения отдельных инструкций, коррекции состояний всех инструкций и выбора следующей. Акты выполнения, коррекции и выбора описываются следующими Сетл-процедурами: выполнение = проц  $(a, X)$ ; если  $a^k \in K^c$  то (если  $a^k(X) = 1$  то  $a^l = -a^l$ ) иначе  $X = a^k(X)$ ; коррекция = проц  $(\tilde{P}, n, \eta, \theta)$ ;  $\forall a \in \tilde{P}$ : если  $a^l = n \& v_a = 1$  то начальное  $(a, v_a^l, v_a^l, v_a)$ ; если  $a^l = n$  то  $v_a^l = 1$ ; если  $a^l = n$  то  $v_a^l = 1$ ; если  $v_a^l = 1 \& v_a^l = 1$  то  $v_a = 1$ ;,,, , выбор = проц  $(\tilde{P}, b, v, 0)$ ; если  $\forall a \in \tilde{P} : v_a = 0$  то  $v = 0$  иначе  $b =$  любой  $\{a \in \tilde{P} | v_a = 1\}$ ;;.

Здесь, в процедуре «выполнение»,  $K^c$  означает множество всех команд сравнения [1]. В процедурах «коррекция» и «выбор» соответствия  $\eta$  и  $\theta$  используются для нахождения переменных  $v_a^l, v_a^l, v_a$ , соответствующих инструкциям. Иначе говоря,  $v_a^l, v_a^l, v_a$  следует понимать как  $\eta(a^l), \eta(a^l), \theta(a)$  соответственно.

Универсальный алгоритм  $A'$  выполнения асинхронной программы  $P = (\tilde{P}, z)$  при начальном состоянии памяти  $X \in X'$  описывается Сетл-процедурой «алгоритм», при обращении к которой в качестве фактических параметров выступают: асинхронная программа  $P$ , начальное состояние памяти  $X$ , соответствия  $\eta$  и  $\theta$ . Алгоритм = проц  $(P, X, \eta, \theta)$ ;  $v = 1$ ; коррекция  $(\tilde{P}, z, \eta, \theta)$ ; выбор  $(\tilde{P}, b, v, 0)$ ; пока  $v \neq 0$ : выполнение  $(b, X)$ ; коррекция  $(\tilde{P}, b^l, \eta, \theta)$ ; выбор  $(\tilde{P}, b, v, 0)$ ;;,.

Предположим, что к процедуре «алгоритм» осуществляется обращение при некоторых конкретных значениях параметров  $P, X, \eta, \theta$ . После выполнения вызова процедуры «коррекция» возможно, что некоторые инструкции асинхронной программы  $P = (\tilde{P}, z)$  перейдут в состояние ГОТОВА. Это будут те инструкции, для которых справедливо условие:

$$a^l = z \& a^l = 0 \vee a^l = 0 \& a^l = z \vee a^l = z \& a^l = z. \quad (2)$$

Если в программе не окажется ни одной из них, для которой выполняется условие (2), то все инструкции останутся в состоянии НЕ ГОТОВА.

Вызов процедуры «выбор» присваивает переменной  $b$  значение, равное любой инструкции в состоянии ГОТОВА, либо,

если таковых в программе нет, то переменной  $v$  присваивается значение, равное нулю.

Если  $v \neq 0$ , то выполняются предложения тела цикла. Первое предложение — вызов процедуры «выполнение», в результате которого сработает команда инструкции  $b$  (первая выполненная команда программы). Так как первое выполнение процедуры «выбор» может привести к выбору любой инструкции в состоянии ГОТОВА, то именно в этом смысле число  $z$  называется номером точек входа.

В результате выполнения команды инструкции  $b$  либо состояние памяти станет равно  $b^k(X)$ , если  $b^k \in K^p$  (т. е.  $b^k$  — команда обработки), либо знак номера команды изменится на противоположный, если  $b^k \in K^c$  (т. е.  $b^k$  — команда сравнения) и  $b^k(X) = \perp$ , либо ничего не изменится.

Затем осуществляется вызов процедуры «коррекция», который выполнившуюся инструкцию переведет в начальное состояние, а те инструкции, для которых справедливо условие:  $a^j = b^i \& \eta(a^j) = 1 \vee \eta(a^j) = 1 \& a^j = b^i \vee a^j = b^i \& a^j = b^i$ , перейдут из состояния НЕ ГОТОВА в состояние ГОТОВА. Затем — переход к процедуре «выбор» и т. д.

Счет программы  $P$  прекращается в тот момент, когда все инструкции вновь перейдут в состояние НЕ ГОТОВА, т. е. выполнится условие:

$$\forall (a \in \tilde{P}) (v_a = 0). \quad (3)$$

Конечное состояние программы полностью совпадает с начальным. Поэтому выполнение ее может быть вновь повторено с тем же или другим состоянием памяти. Выражение (3) называется *условием остановки* выполнения асинхронной программы.

**Свойства асинхронной машины.** Напомним, что в последовательной машине всякий процесс  $X \xrightarrow{P} Y$ , порожденный в пространстве  $X^q$  состояний памяти при выполнении последовательной программы  $P$  с начальным состоянием памяти  $X \in X^q$ , однозначно определяется начальным состоянием  $X$  памяти [1].

В асинхронной машине повторение выполнения произвольной асинхронной программы с тем же начальным состоянием памяти в общем случае может породить другой процесс в пространстве состояний, отличающийся от предыдущего, хотя заключительные состояния памяти обоих процессов совпадают.

Это обусловлено следующим. В процессе выполнения асинхронной программы в некоторые моменты времени множество инструкций в состоянии ГОТОВА может содержать более одной инструкции. А значит, процедура «выбор» может привести к выбору любой из этих инструкций для последующего выполнения, т. е. привести к порождению различных процессов в пространстве состояний памяти.

Докажем сказанное более строго. Пусть  $P$  — произвольная асинхронная программа,  $X$  — некоторое состояние памяти и  $X \xrightarrow{P} Y$  — процесс, порожденный при каком-то выполнении программы  $P$ .

Предложение 1. Процесс  $(X \xrightarrow{P} Y)'$ , порожденный при повторном выполнении произвольной программы  $P$  с тем же начальным состоянием памяти  $X$ , не обязательно совпадает с предыдущим процессом  $X \xrightarrow{P} Y$ .

Данное предложение будет доказано, если приведем асинхронную программу, для которой оно выполняется. Такой программой может быть, например, следующая:  $P = (\tilde{P}, 1)$ , где  $\tilde{P} = \{(2, f, 1, 0), (3, g, 1, 0), (4, h, 2, 3)\}$ . Здесь  $f, g, h$  — некоторые команды обработки, причем  $f$  и  $g$  коммутативны, т. е.  $f \cdot g = g \cdot f$  [3, с. 123].

Рассмотрим выполнение программы  $P$  при начальном состоянии памяти  $X$ . Для этого определим сначала соответствия  $\eta$  и  $\theta$ . Пусть  $a, b, c$  обозначают инструкции программы  $P$ , т. е.  $a = (2, f, 1, 0)$ ,  $b = (3, g, 1, 0)$ ,  $c = (4, h, 2, 3)$ . Соответствия  $\eta$  и  $\theta$  определим следующим образом:  $\eta(a^i) = v_a^i$ ,  $\eta(b^i) = v_b^i$ ,  $\eta(c^i) = v_c^i$ ,  $\theta(a) = v_a$ ,  $\theta(b) = v_b$

$$\theta(c) = v_c, \text{ где } v_a^i, v_a, v_b^i, v_b, v_c^i, v_c, v_a,$$

$v_b, v_c$  — некоторые переменные, принимающие значения в двухэлементном множестве  $\{0, 1\}$ .

Выполнение процедуры «начальное» для всех инструкций программы приведет к установке следующих значений переменных:  $v_a^i = 0$ ,  $v_a^i = 1$ ,  $v_b^i = 0$ ,  $v_b^i = 1$ ,  $v_c^i = 0$ ,  $v_c^i = 0$ ,  $v_a = 0$ ,  $v_b = 0$ ,  $v_c = 0$ .

Все инструкции находятся в состоянии НЕ ГОТОВА. Рассмотрим по шагам выполнение программы  $P$ .

**Шаг 1.** Выполняется предложение вызова: коррекция  $(P, 1, \eta, \theta)$ . В результате изменятся значения следующих переменных:  $v_a^i = 1$ ,  $v_b^i = 1$ ,  $v_a = 1$ ,  $v_b = 1$ , т. е. инструкции  $a$  и  $b$  перейдут в состояние ГОТОВА.

Выполняется предложение вызова: выбор  $(\tilde{P}, d, v, \theta)$ , в результате чего переменной  $d$  присваивается значение, равное инструкции  $a$  или инструкции  $b$ . Предположим, что  $d = (2, f, 1, 0)$ .

**Шаг 2.** Так как  $v \neq 0$ , то следует предложение вызова: выполнение  $(d, X)$ . В результате сработает команда обработки  $f$  и состояние памяти станет равно  $f(X)$ ,  $X_1 = f(X)$ .

Выполняется предложение вызова: коррекция  $(\tilde{P}, 2, \eta, \theta)$ . Изменяются значения следующих переменных:  $v_a^i = 0$ ,  $v_c^i = 1$ ,

$v_a = 0$ , т. е. в состоянии ГОТОВА останется только инструкция  $b$ .

Выполняется предложение вызова: выбор  $(\tilde{P}, d, v, \theta)$ . В результате переменной  $d$  однозначно присваивается значение, равное инструкции  $b$ , единственной в состоянии ГОТОВА на этом шаге. Итак,  $d = (3, g, 1, 0)$ .

**Шаг 3.** Так как  $v \neq 0$ , то следует предложение вызова: выполнение  $(d, X_1)$ . В результате сработает команда обработки  $g$  и состояние памяти станет равно  $g(X_1)$ ,  $X_2 = g(X_1)$ .

Выполняется предложение вызова: коррекция  $(\tilde{P}, 3, \eta, \theta)$ . Изменяются значения следующих переменных:  $v'_b = 0$ ,  $v'_c = 1$ ,  $v_b = 0$ ,  $v_c = 1$ , т. е. в состоянии ГОТОВА находится только инструкция  $c$ .

Выполнение предложения вызова: выбор  $(\tilde{P}, d, v, \theta)$  вновь однозначно, т. е.  $d = (4, h, 2, 3)$ .

**Шаг 4.** Так как  $v \neq 0$ , то последует предложение вызова: выполнение  $(d, X_2)$ . В результате сработает команда обработки  $h$  и состояние памяти станет равно  $h(X_2)$ ,  $X_3 = h(X_2)$ .

Выполняется предложение вызова: коррекция  $(\tilde{P}, 4, \eta, \theta)$ . Изменяются значения следующих переменных:  $v'_c = 0$ ,  $v'_d = 0$ ,  $v_c = 0$ .

Следует очередное предложение вызова: выбор  $(\tilde{P}, d, v, \theta)$ . Значение переменной  $v$  установится равное нулю,  $v = 0$ , что свидетельствует об отсутствии в программе какой-либо инструкции в состоянии ГОТОВА, т. е. имеет место условие остановки.

**Шаг 5.** Так как  $v = 0$ , выполнение программы прекращается. Заключительное состояние программы равно начальному, а заключительное состояние памяти равно  $X_3$ .

Таким образом, данное выполнение программы  $P$  породит процесс  $Xf(X)g(f(X))h(g(f(X)))$  с заключительным состоянием памяти  $h(g(f(X)))$ .

Легко показать, что если на шаге 1 переменной  $d$  присвоится значение, равное инструкции  $b$  (второе из возможных значений на этом шаге), то выполнение программы  $P$  породит процесс  $Xg(X)f(g(X))h(f(g(X)))$  с заключительным состоянием памяти  $h(f(g(X)))$ .

Ясно, что заключительные состояния памяти в обоих процессах равны, т. е.  $h(g(f(X))) = h(f(g(X)))$ , так как из коммутативности команд обработки  $f$  и  $g$  следует, что для всех состояний  $X$  памяти выполняется  $g(f(X)) = f(g(X))$ .

В то же время, если для некоторого состояния  $X$  памяти  $f(X) \neq g(X)$ , то процессы  $Xf(X)g(f(X))h(g(f(X)))$  и  $Xg(X)f(g(X))h(f(g(X)))$  — различны. Предложение доказано.

Приведем пример различных процессов. Пусть пространство состояний памяти  $X^r = \{0, 1, 2, 3\}$  и команды  $f, g, h$  определяются следующей таблицей:

В таблице приведены также значения суперпозиций  $f(f(X))$  и  $f(g(X))$ .

| $X$ | $f(X)$ | $g(X)$ | $h(X)$ | $g(f(X))$ | $f(g(X))$ |
|-----|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| 0   | 1      | 2      | 3      | 3         | 3         |
| 1   | 2      | 3      | 2      | 0         | 0         |
| 2   | 3      | 0      | 1      | 1         | 1         |
| 3   | 0      | 1      | 0      | 2         | 2         |

Пусть начальное состояние памяти  $X=3$ , тогда при различных выполнениях программы  $P$  возможен любой из следующих двух процессов в пространстве состояний памяти: 3021 и 3121.

Другие свойства асинхронной машины будут рассмотрены в следующих сообщениях.

Список литературы: 1. Колубай С. К. О степени общности МК-программ. Сообщение 1.— В кн.: Проблемы бионики. Настоящий выпуск. 2. Колубай С. К. Параллельная вычислительная система для МК-программ.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979, вып. 23, с. 85—92. 3. Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Е. Л. Алгебра, языки, программирование. Киев, Наукова думка, 1974. 328 с.

Поступила 19 июля 1978 года

УДК 62.506.2

А. Г. МУРАШКО, канд. техн. наук, Г. Г. ЧЕТВЕРИКОВ

### ИЗВЛЕЧЕНИЕ КВАДРАТНОГО КОРНЯ СРЕДСТВАМИ АЛГЕБРЫ ПРЕДИКАТОВ

В данной работе исследуется вопрос математического описания процесса извлечения квадратного корня из многоразрядных двоичных кодов с помощью средств алгебры конечных предикатов [1, 2, 3]. На основе этого описания предполагается смоделировать работу некоторого конечного автомата, позволяющего решать различные аналогичные задачи. Автомат предназначен для выполнения рассматриваемой операции путем параллельного и независимого решения системы логических уравнений (СЛУ), к которой математически сведен процесс извлечения корня. В статьях [2, 4] сведены арифметические операции: сложение и умножение (для двоичных и троичных кодов соответственно).

В работе [3] введены уравнения теории интеллекта, описывающие различные информационные процессы, реализуемые естественным и искусственным интеллектом. В этом плане одной из задач является получение требуемых уравнений, которые в дальнейшем могут быть реализованы.

Перейдем к выводу системы логических уравнений, являющейся результатом математического описания процесса извлечения корня квадратного из многоразрядных двоичных кодов средствами алгебры предикатов.



Аналогично с помощью СЛУ (3) суммируем переменные  $Z$  и в уравнении (1). В данном случае система содержит  $2m$  уравнений.

Ниже опишем отношение  $Q$ , задаваемое уравнением (2). Тогда ЛУ имеет вид:

$$\begin{aligned} l_i^0 c_i^0 d_i^0 \vee l_i^1 c_i^1 d_i^1 = 1; & (l_i^0 c_i^0 d_i^0 \vee l_i^1 c_i^1 d_i^1) (d_{i-1}^0 x_{i-1}^0 \vee d_{i-1}^1 x_{i-1}^1) \vee \\ & \vee (l_i^0 c_i^1 \vee l_i^1 c_i^0) (d_{i-1}^0 d_{i-1}^1 x_{i-1}^0 \vee d_{i-1}^1 d_{i-1}^0 x_{i-1}^1) = 1; (l_i^0 c_i^0 d_i^0 \vee \\ & \vee l_i^1 c_i^1 d_i^1) d_{i-1}^0 \vee (l_i^0 c_i^1 \vee l_i^1 c_i^0) d_{i-1}^1 d_i^1 = 1; (2 \leq i \leq m+1, \\ & m+2 \leq j \leq 2m), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $D = (d_{2m}, d_{2m-1}, \dots, d_1, d_0)$ ;  $T = (t_{2m}, t_{2m-1}, \dots, t_1, t_0)$ ;  $S = (s_{2m}, s_{2m-1}, \dots, s_1, s_0)$ ;  $\dots$ ;  $A = (p_{2m}, p_{2m-1}, \dots, p_1, p_0)$  — перенос из младшего разряда в старший. В общем случае при описании отношения  $Q$  СЛУ состоит из  $2m$  уравнений.

Общее число уравнений при описании исходного отношения  $H$  для  $m \geq 3$  составит  $m(3m+2)$ . Таким образом, располагая системами (3)—(5) и методами их решения, получаем возможность решать различные арифметические задачи, в которых фигурирует отношение  $H$ .

Рассмотрим пример. Пусть  $m=2$ ,  $Y=0111$ . Найти значение  $X$ . В данном случае система (3) выразится четырьмя уравнениями:

$$\begin{aligned} x_1^0 r_{1,1}^0 \vee x_1^1 r_{1,1}^1 = 1; & (x_2^0 \vee x_2^1) r_{1,2}^0 \vee x_2^1 x_1^1 r_{1,2}^1 = 1; \\ (x_1^0 \vee x_2^0) r_{2,2}^0 \vee x_1^1 x_2^1 r_{2,2}^1 = 1; & x_2^0 r_{2,3}^0 \vee x_2^1 r_{2,3}^1 = 1. \end{aligned}$$

Система (4) представится в виде двух систем по четыре уравнения в каждой, первая имеет вид:

$$\begin{aligned} (r_1^0, r_2^0, t_1^0 \vee r_1^1, r_2^1, t_1^1) (t_{i-1}^0 z_i^0 \vee t_{i-1}^1 z_i^1) \vee (r_1^0, r_2^1, t_1^0 \vee \\ \vee r_1^1, r_2^0, t_1^1) (t_{i-1}^0 t_i^0 z_i^1 \vee t_{i-1}^1 t_i^1 z_i^0) = 1 \quad (i = \overline{1,4}); \end{aligned} \quad (7)$$

вторая:

$$\begin{aligned} (z_i^0 c_i^0 s_i^0 \vee z_i^1 c_i^1 s_i^1) (s_{i-1}^0 y_i^0 \vee s_{i-1}^1 y_i^1) \vee \\ \vee (z_i^0 c_i^1 \vee z_i^1 c_i^0) (s_{i-1}^0 s_{i-1}^1 y_i^0 \vee s_{i-1}^1 s_{i-1}^0 y_i^1) = 1 \quad (i = \overline{1,4}). \end{aligned} \quad (8)$$

Система (5) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} l_1^0 c_1^0 d_1^0 \vee l_1^1 c_1^1 d_1^1 = 1; & (l_2^0 c_2^0 d_2^0 \vee l_2^1 c_2^1 d_2^1) (d_1^0 x_1^0 \vee d_1^1 x_1^1) \vee \\ \vee (l_2^0 c_2^1 \vee l_2^1 c_2^0) (d_1^0 d_1^1 x_1^0 \vee d_1^1 d_1^0 x_1^1) = 1; & l_3^0 c_3^0 (d_2^0 x_2^0 \vee d_2^1 x_2^1) \vee \\ \vee (l_3^0 c_3^1 \vee l_3^1 c_3^0) d_2^0 x_2^1 = 1. \end{aligned} \quad (9)$$

Далее, упрощая левые части систем логических уравнений (6)—(9) по правилам алгебры предикатов, окончательно имеем:  $x_1^0 x_2^1 r_{1,1}^0 r_{1,2}^0 r_{2,2}^1 z_1^0 d_1^1 l_1^1 z_3^0 t_2^0 d_2^1 l_3^0 c_2^1 z_2^0 l_2^0 = 1$ , откуда  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 1$ ;  $z_1 = 0$ ;  $z_2 = 0$ ;  $z_3 = 1$ ;  $c_1 = 1$ ;  $c_2 = 1$ ;  $c_3 = 0$ ;  $l_1 = 1$ ;  $l_2 = l_3 = l_4 = 0$ , то есть  $X \approx 10$ .

Полученное значение  $X$  найдено с недостатком (с точностью до единицы), величина которого определяется значением  $\sqrt{C}$ .

**Список литературы:** 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов.— В кн.: АСУ и приборы автоматики. Харьков, 1979, вып. 50, с. 14—20. 2. *Мурашко А. Г., Четвериков Г. Г., Шабанова-Кушнаренко З. Ю.* Математическое описание арифметических отношений двоичных кодов.— В кн.: АСУ и приборы автоматики. Харьков, 1979, вып. 50, с. 23—32. 3. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об уравнениях теории интеллекта.— В кн.: АСУ и приборы автоматики. Харьков, 1979, вып. 53, с. 52—56. 4. *Четвериков Г. Г., Шабанова-Кушнаренко З. Ю.* О математическом описании арифметических отношений троичных кодов.— В кн.: АСУ и приборы автоматики. Харьков, 1979, вып. 52, с. 47—51.

Поступила 8 июля 1978 года

УДК 007 : 573.6

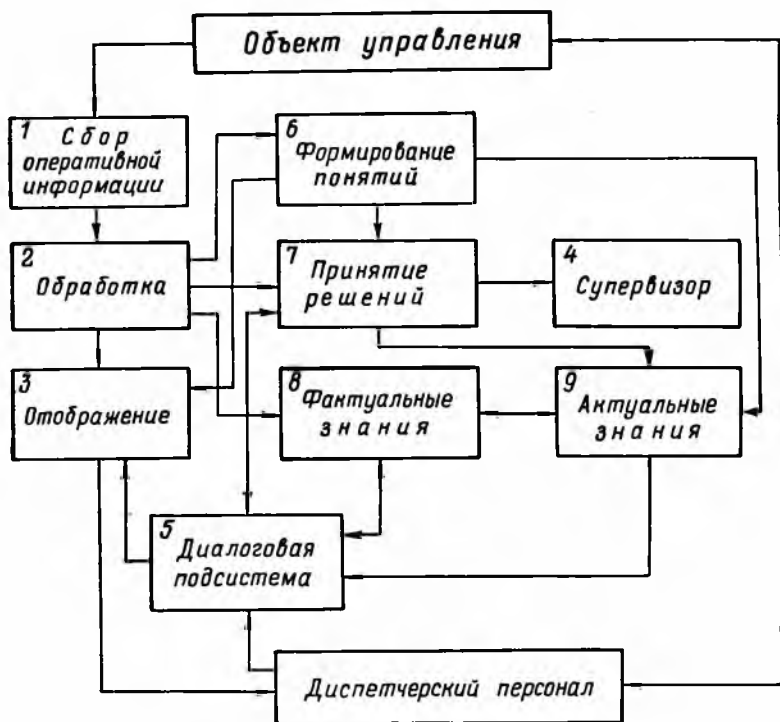
**Ю. Я. ЛЮБАРСКИЙ**, канд. техн. наук

### **ДИСПЕТЧЕРСКАЯ ВОПРОСНО-ОТВЕТНАЯ СИСТЕМА С ВИРТУАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ**

**Диспетчерские информационные системы (ДИС).** Назначение ДИС — оказание информационной помощи диспетчерскому персоналу, управляющему технологическими процессами. Эти системы осуществляют сбор оперативной информации, ее обработку и отображение (по инициативе ЭВМ или в диалоговом режиме) на различных дисплейных средствах (ЭЛТ, мнемосхемы, табло, принтеры). Для обеспечения необходимой надежности ДИС часто строятся на базе малых ЭВМ третьего поколения (обычно используются две мини-ЭВМ, резервирующие друг друга). Пример ДИС — система для управления энергообъединениями [1—3].

В существующих ДИС априорно задаются периоды выполнения или условия инициирования различных программ, входящих в комплекс математического обеспечения ДИС. Язык диалога с диспетчерским персоналом — язык функций ЭВМ, а не профессиональный язык диспетчера. Форма отображаемой информации однозначно определяется запросом, а не ситуацией в объекте управления; отсутствует анализ ситуаций. Это дает основание отнести информационное поведение таких ДИС к жесткому типу. Для дальнейшего развития ДИС необходимо дополнить их системой адаптивного поведения (СА), которую целесообразно строить с использованием методов «искусственного интеллекта». Структура ДИС, использующей СА, приведена на рисунке. К СА относятся блоки 6—9 и, частично, 4, 5. Ядро СА — система знаний, состоящая из фактуальных знаний (о фактах) и актуальных (о действиях). Вопросы диспетчерского персонала к блоку 8 формулируются на входном языке

ЯДРОМ (язык диспетчерских решений, оперативный), близком к профессиональному языку управления данным производством. Для реализации блока 8 используются семантические представления. Блок 9 содержит набор сценариев [4], построенных на основе диспетчерских инструкций и являющихся сценариями «внутреннего» диалога блоков 9 и 8, в процессе которого конкретизируются общие положения инструкций, анализируется ситуация, вырабатывается план воздействия на объект управления,



выдается совет диспетчеру. Для построения блока 9 используются процедурные представления. Текущая информация передается в блок 8 из 1-го. Таким образом, блок 8 имеет три входа: естественно-языковой, для «внутренних» запросов и для ввода текущей информации. Блок 7 служит для принятия решений об иницировании какого-либо сценария в текущей ситуации. В блоке 6 формируется понятие текущей ситуации, обобщается информация, которая затем используется для принятия решения.

**Виртуальная семантическая сеть.** Для реализации блока фактуальных знаний вопросно-ответной системы используются представления знаний в виде семантической сети. Вершины графа сети, соответствующие понятиям мира системы, в модели

изображаются узлами, а дуги графа, адекватные отношениям между понятиями, изображаются связями. Для моделирования семантической сети целесообразно использовать метод активных семантических сетей [5, 6]. При этом в модели узлу соответствует значение возбуждения  $X$ , а дуге — проходимость связи  $R$ . Эти величины могут непрерывно изменяться в заданном диапазоне. Работа модели сети сводится к распространению возбуждения между узлами в соответствии со значениями проходимостей связей:

$$X_i = \left[ \left( \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N x_k R_{jk} \right) \wedge x_{\min} \right] \vee x_{\max}. \quad (1)$$

Целесообразно принять  $x_{\min} = 0$ ,  $x_{\max} = 1$ ,  $R_{\min} = -1$ ,  $R_{\max} = 1$ . Положительные значения проходимости соответствуют возбуждающим связям, отрицательные — тормозным. Уровень возбуждения узла представляет «важность» понятия, например, при ответе на вопрос; значение проходимости связи отображает «силу» определенного отношения.

Для реальных объектов модель семантической сети должна содержать тысячи узлов и связей (например, для энергосистемы — порядка  $10^4$  узлов). При таких объемах сети работа с вопросно-ответной системой в реальном масштабе времени невозможна (следует учесть также ограниченный ресурс вычислительной мощности и памяти мини-ЭВМ). Целесообразно разделить общую сеть на отдельные подсети и в ответ на каждый вопрос собирать в памяти ЭВМ проблемную семантическую сеть (ПСС), релевантную данному вопросу. При этом пользователь работает с «кажущейся» сетью. Достигается обеспечение работы в реальном времени и снижение информационного шума из-за влияния на ответ системы слабо возбужденных узлов, соответствующих понятиям, не нужным для вывода ответа на данный вопрос.

Для разделения сети на подсети необходимо ввести определенные разбиения и определить механизм сборки ПСС. Связи, характерные для парадигматических отношений (например, родо-видовых), назовем  $\pi$ -связями, а для синтагматических (ситуативных) —  $\sigma$ -связями. Если  $\pi$ -связи изображать вертикальными линиями, а  $\sigma$ -связи — горизонтальными, получим уровни сети, причем  $\pi$ -связи оказываются межуровневыми, а  $\sigma$ -связи — внутриуровневыми.

Таким образом,  $\pi$ -связи отделяют уровни сети друг от друга, а номер уровня, соответствующий степени обобщения информации, определяется числом  $\pi$ -связей, отделяющих данный уровень от нулевого (уровня конкретной информации). Сеть представляется при этом иерархической конструкцией, аналогичной представлению знаний в гироматах [7]. Узлы одного уровня,  $\pi$ -связи которых входят в один узел ближайшего верхнего уров-

я образуют семантическую группу (СГ), обозначаемую именем понятия узла — вершины  $\pi$ -связей (например, узлы ОБЪЕКТ 1, ОБЪЕКТ 2, ... принадлежат к СГ ОБЪЕКТАМ).

В сети существуют различные типы ситуативных отношений с различными «цветами»  $\sigma$ -связей. При разделении сети на подсети — проблемные сферы (ПС) в каждую ПС входил только один «цвет»  $\sigma$ -связей. Если хотя бы один из узлов некоторой СГ связан с  $\sigma$ -связью «цвета» данной ПС, в ПС должна войти вся СГ. В общем случае ПС — иерархическая структура с одноцветными внутриуровневыми  $\sigma$ -связями и межуровневыми  $\pi$ -связями. Как правило, в ПС на каждом уровне входят две СГ (например, ОБЪЕКТЫ — РЕГИОНЫ или ОБЪЕКТЫ — ЛИНИИ) [8]. Для определения ПС, из которых нужно собирать ПСС, вводится специальная двухуровневая ПС<sub>а</sub>. Узлы нижнего уровня ПС<sub>а</sub> соответствуют различным СГ, верхнего — всем имеющимся ПС. Если возбудить узлы, относящиеся к СГ, упомянутым в вопросе, то максимальное возбуждение получают узлы верхнего уровня, соответствующие ПС, релевантные вопросу. Для сборки ПСС необходима также таблица связей (ТСПС), в которой указаны «внешние» связи между ПС, а также СГ, принадлежащие разным ПС.

Сборка ПСС нужна только для вывода ответов на вопросы. При вводе информации о фактах адресуется непосредственно определенная ПС, выступающая как целое при вводе данных, процессах обучения и самообучения. Возможны различные способы обучения и самообучения в ПС, в частности, НАБЛЮДЕНИЕ — изменение проходимости связи между соответствующими узлами ПС при вводе данных; РЕФЛЕКС — увеличение проходимости связей между наиболее возбужденными узлами ПС и ослабление связей между остальными узлами (при отображении наузативных отношений): МЕЖУРОВНЕВАЯ ПРОЕКЦИЯ — «проекция» проходимости  $\sigma$ -связи вдоль  $\pi$ -связей. В последнем случае проекция «вверх» (на ближайший верхний уровень) отвечает простейшему индуктивному выводу, а проекция «вниз» — дедуктивному. Для этих процедур на всех уровнях ПС, кроме нижнего, между узлами вводится два типа  $\sigma$ -связей: общности  $R_{\vee}$  и существования  $R_{\exists}$ . Проекция в ПС может использоваться для верификации вводимой конкретной информации на нижних уровнях с помощью индуктивного опыта, накопленного на верхних уровнях ПС.

Отметим, что введенное разбиение сети на ПС может использоваться также и для введения в сеть различных модальностей и рефлексии, аналогично тому, как это делается в работе [9].

**Вывод ответа на вопрос.** При выводе ответа в рассматриваемой системе осуществляются последовательные трансляции вопроса, сформулированного на входном языке, на ряд промежуточных языков и вербализация ответа на выходном языке ИМЯ (язык технологических наименований, таблиц, схем) — см. табл.

Таблица

| № п/п | Уровни представления         | Язык                           | Этапы преобразования               | Содержание этапа   |
|-------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|
| 1     | Поверхностный синтаксический | ЯДРО                           | Синтаксический анализ              | Трансляция ЯДРО—ЯСГ, выявление темы и ремы, декомпозиция вопроса   |
| 2     | Глубинный синтаксический     | ЯСГ                            | Поверхностный семантический анализ | Трансляция ЯСГ—ЯПС   |
| 3     | Поверхностный семантический  | ЯПС                            | Семантическое представление        | Сборка ПСС<br>Трансляция ЯПС—ЯСС начальное возбуждение узлом ремы вопроса, пересчет возбуждений узлов ПСС, сравнение с порогом возбуждений узлов темы, конъюнкция возбуждений узлов темы подвопросов |
| 4     | Глубинный семантический      | ЯСС                            | Вербализация ответа                | Трансляция ЯСС—ИМЯ   |
| 5     | Представление для ответа     | Язык технологич. наименов. ИМЯ |                                    |  |

Ограничения, накладываемые на входной язык ЯДРО, определяются ограниченным ресурсом ЭВМ и требованиями необходимой оперативности общения. Положим, что допустимы только вопросительные предложения с вопросительным словом КАКОЙ (или предложения, которые могут быть преобразованы в эту форму). Актуальное членение предложения разделяет вопрос на тему (о чем спрашивается) и ремю (условия вопроса). Вопросительное слово в языке ЯДРО должно предшествовать теме, а все условия, входящие в ремю, считаются конъюнктивными (см. табл.). При отсутствии вопросительного слова предложение начинается с темы. Изменяя порядок слов, можно сохранить смысл вопроса, если взаимное расположение вопросительного слова и темы не изменится. Вопрос может содержать придаточную часть, отделенную запятой от основной части. Придаточная часть выделяется при синтаксическом анализе в отдельный подвопрос, тема которого должна войти отдельным условием в ремю основной части вопроса. Пример: КАКОЙ ПАРАМЕТР, РЕГИОН ОН СОСТОЯНИЕ АВАРИЙН.? (какие /имеются/ параметры /которые принадлежат /регионам/ в /аварийном состоянии/) При формулировке вопроса однозначно понимаемые отношения умалчиваются. В нем могут содержаться анафорические слова указывающие на тему предыдущего вопроса (слова типа УПО

ИЯНУТЫЙ). Возможно использование определительных наречий (МНОГО, СИЛЬНО и т. п.). Сказанное подтверждает, что при наличии существенных ограничений язык ЯДРО сохраняет многие выразительные возможности естественного языка. К этому следует добавить о возможности употребления во входном языке метонимии (в частности, синекдохи-переноса свойства частного понятия на общее и наоборот) и синонимических конструкций. Пример: КАКОЙ РЕГИОН АВАРИЙН? (вместо более громоздкого КАКОЙ РЕГИОН, ОБЪЕКТ, ПАРАМЕТР ВАРИЙН.); вопроса с синонимическими частями: КАКОЙ ПЕРЕТОК... КАКОЙ ПАРАМЕТР ЛИНИЯ:... (синонимические части вопросов подчеркнуты). При трансляции ЯДРО→ЯСГ слова или словосочетания входного языка заменяются именами семантических групп (ИСГ) или элементами семантических групп (ЭСГ), причем ЭСГ = (ИСГ) (цифра). Темой вопроса может быть только ИСГ. Если после вопросительного слова следует ЭСГ, темой является ИСГ, подчиненное СГ, которой принадлежит ЭСГ. Отношения подчинения априорно заданы (например, СГ ВИД ОБЪЕКТА подчинена СГ ОБЪЕКТ). При декомпозиции простого вопроса для каждого подвопроса сохраняется тема общего вопроса, а в рему входит одно из условий темы вопроса. Подвопрос, полученный из придаточной части, анализируется как простой, но помечается (на ЯСГ) специальным признаком, а его тема является ремой одного из подвопросов, полученных из основной части вопроса.

При поверхностном семантическом анализе определяются представленные проблемными сферами области знания, которые потребуются для вывода ответа на вопрос и собирается проблемная сеть. ЯПС — язык номеров ПС и относительных адресов узлов в ПС. ПСС собирается последовательно для каждого подвопроса.

При семантическом представлении для каждой собранному ПСС осуществляется начальное возбуждение узлов семантической сети, соответствующих реме подвопроса и пересчитываются по формуле (1) возбуждения остальных узлов ПСС. При этом запоминаются значения возбуждений узлов СГ темы подвопроса. После рассмотрения всех подвопросов производится конъюнкция возбуждений узлов СГ темы подвопросов. Результирующие значения возбуждения, превышающие пороговое значение, запоминаются для синтеза ответа. После обработки придаточного подвопроса возбуждения узлов СГ его темы становятся начальными возбуждениями ПСС следующего подвопроса. Значение порога, с которым сравнивается возбуждение узлов СГ темы, в простейшем случае задается заранее. Однако имеется возможность связать значение порога с нечеткими указаниями вопроса (с определительными наречиями типа СЛАБО, СИЛЬНО и т. п.). Таким образом, ЯСС — язык возбуждений узлов и проходимостей связи, а также порогов семантической сети.

При простейшем варианте вербализации ответа выводятся технологические наименования, соответствующие узлам СГ темы, выбранным на этапе семантического представления. В более сложных случаях могут соответствовать не наименования, а форматы отображения или программы, которые следует инициировать.

Выразительные возможности входного языка ЯДРО обеспечиваются при описанных преобразованиях следующим образом. Изменение порядка слов в вопросе и его влияние на смысл предложения учитывается при синтаксическом анализе (при делении на тему и рему). Наличие в вопросе придаточной части определяется при синтаксическом анализе, но окончательно учитывается при семантическом представлении. Анафорические слова в вопросе учитываются при семантическом представлении, так что результирующие возбуждения узлов, входящих в тему предыдущего вопроса, становятся начальными возбуждениями узла ремы с анафорическим словом. Другие умолчания учитываются при поверхностном семантическом анализе введением в ПС<sub>α</sub> «горизонтальных» связей на нижнем уровне. Таким образом, могут быть учтены понятия, не упомянутые, но подразумеваемые в вопросе. Метонимия учитывается при семантическом представлении путем распространения в ПСС возбуждения по межуровневым π-связям. Синонимические конструкции могут быть учтены при синтаксическом анализе, но основное средство их «понимания» — суммирование в ПСС возбуждений узлов через проходимость связей (в приведенном выше примере синонимических частей вопросов «понимание» обеспечивается тем, что на глубинном семантическом уровне возбуждение узлов ПАРАМЕТР и ЛИНИЯ при пересчете ПСС приводит к возбуждению узла ПЕРЕТОК).

Принципы построения блока принятия решений (в применении к задаче распределения ресурса ЭВМ информационной системы) изложены в работах [10, 11], а блока формирования понятия текущей ситуации в объекте управления (энергосистеме) — в работе [12].

Приведем основные характеристики разработанной ВНИИЭлектроэнергетики вопросно-ответной системы МИМИР, построенной в соответствии с изложенными выше положениями: тип ЭВМ — ЕС = 1010; язык программирования — Ассемблер ЕС = 1010; входной язык — ограниченный естественный профессиональный язык диспетчерского управления ЯДРО; выходной язык — язык технологических наименований (таблиц, схем ИМЯ; способ семантического представления — виртуальная активная семантическая сеть; количество проблемных сфер ПС — до 64; хранение массивов ПС — на магнитных дисках; количество ПС, из которых собирается ПСС — до 4; число узлов и связей в одной ПС — до 255 узлов и 255 связей; реактивность — около 1 с на подвопрос; объем математического обеспечения —

около 4К байт; объем массивов одной ПС — 1К байт; общий объем массивов — около 4К байт.

Взаимодействие с ДИС для МИМИР организуется через супервизор пользовательских программ, обеспечивающий выполнение программ МИМИР в общем свопинговом разделе оперативной памяти.

Обращения блока актуальных знаний к блоку фактуальных целесообразно выполнять непосредственно на языке семантических сетей ЯСС, хотя для формирования сценариев целесообразно использовать входной язык ЯДРО с последующей трансляцией ЯДРО→ЯПС→ЯСС.

**Список литературы:** 1. *Лугинский Я. Н., Семенов В. А.* Информационно-вычислительные системы в диспетчерском управлении. М., Энергия, 1975. 159 с. 2. *Митюшкин К. Г.* Телемеханика в энергосистемах. М., Энергия, 1975. 51 с. 3. *Карпина О. Я., Кемельмахур Г. Л., Эпельман Л. Е.* Некоторые вопросы проектирования математического обеспечения систем сбора, обработки и отображения оперативной диспетчерской информации.— Программирование, 1977, № 4, с. 64—71. 4. *Шенк Р., Абельсон Р.* Сценарии, планы и знание.— Труды /IV-я объединенная международная конференция по искусственному интеллекту. М., 1976, т. 6, с. 208—220. 5. *Автоматы и разумное поведение.* /И. М. Амосов, А. М. Касаткин, Л. М. Касаткина С. А. Талаев. Киев: Наукова думка, 1973. 373 с. 6. *Амосов Н. М., Касаткин А. М., Касаткина Л. М.* Активные семантические сети в работах с автономным управлением.— Труды /IV-я объединенная международная конференция по искусственному интеллекту. М., 1975, т. 9, с. 11. 7. *Поспелов Д. А., Пушкин В. Н.* Мышление и автоматы. М., Сов. радио, 1972, 220 с. 8. *Любарский Ю. Я.* Представление об объекте управления в диспетчерских информационных системах.— Программирование, 1974, № 1. 9. *Шуберт Л.* Расширение выразительной мощности семантических сетей.— Труды /IV-я объединенная международная конференция по искусственному интеллекту. М., 1976, с. 211—225. 10. *Любарский Ю. Я.* Возможности применения М-автомата в информационных системах оперативного диспетчерского управления энергосистемами.— Электричество, 1977, № 11, с. 24—27. 11. *Любарский Ю. Я.* Алгоритмы адаптивного управления в автоматизированном диспетчерском управлении энергосистемами.— В кн.: Эвристические модели в психологии и социологии. Киев, ИК УССР, 1976, с. 64—77. 12. *Купершмидт Ю. Я., Любарский Ю. Я.* Формирование понятия текущей ситуации в объекте управления для диспетчерских информационных систем.— В кн.: Средства и системы управления в энергетике. М., Информэнерго, 1978, № 2, с. 8—12.

*Поступила 22 ноября 1978 года*

УДК 62.506.2 : 15 : 612.821.3 : 001.85

*А. П. ИЛЬИНСКИЙ, А. С. ИЛЬИНСКАЯ, А. В. КОРОП*

### **НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА. СООБЩЕНИЕ 2**

В экспериментальной психологии известен феномен, названный «вспышкой пережитого» (Flash — back), полученный электрическим стимулированием височных областей на обнаженном

мозге. При этом «испытуемый как будто вновь переносится в какой-то прошедший период времени и осведомлен о тех вещах, о которых он знал в этот предыдущий период: это похоже на то, как будто бы поток сознания течет вновь точно так же, как когда-то, в прошлом» [3].

Вспышки пережитого можно реализовать у испытуемого при помощи ОССП [1]. В отличие от электрического стимулирования, которое извлекает информацию случайным образом в ОССП восстановление прошлых мгновенных состояний психики происходит по строго заданным ассоциативным адресам.

**Режим непрерывного восстановления.** В результате много численных экспериментов установлено, что основой для полноты повторного воспроизведения процессов мышления является внешняя синхронизация. Генератором маркерных сигналов («вех») для такой синхронизации может служить информация каким-либо образом связанная с тем, что испытуемый воспринимал или делал в тот момент, который мы хотим восстановить. Достаточно плотную последовательность «вех» создает фонограмма высказываний испытуемого в режимах «речь» или «маркировка».

Фонограмма служит как бы синхронизатором потока «прошлого времени». При прослушивании такой фонограммы (режим «повторного проигрывания») испытуемый этого не осознает, но у него возникает иллюзия, будто еще раз попадает в ту же самую ситуацию и вновь переживает все свои мысли и ощущения. Дискурсивное мышление во время такого восстановления протекает как и в первый раз. Более того, оказалось, что в протекании тех бессознательных процессов, которые доступны анализу нашими методиками, восстановление также полное. Таким образом, методика «повторное проигрывание» позволяет многократно повторять течение потока мышления с целью исследования его разными методами, которые невозможно применить одновременно или при первом нахождении в проблемной ситуации.

Скорость воспроизведения фонограммы может отличаться от скорости записи. Синхронизирующее влияние фонограммы сохраняется и в этом случае, т. е. происходит изменение «субъективного темпа времени» у испытуемого. Использование такого феномена при замедленном воспроизведении позволяет увеличить количество информации, выговариваемой испытуемым.

**Режим дискретного восстановления.** Фонограммы, полученные в режиме «маркировка», преимущественно используются для дискретного восстановления психического состояния. Испытуемому самому предоставляют возможность управлять движением фонограммы, что воспринимается им как произвольность в остановках и даже как возврат (скачки назад) своего потока сознания во время «вспышек пережитого». Пользуясь этим испытуемый останавливает, а в случае необходимости делает

качки назад потока сознания после каждого маркирующего сигнала и комментирует мелькавшие образы и мысли более полно, чем по методике «речь», и к тому же сознательно, как бы со стороны».

Дискретное восстановление психического состояния используется также в методике «разветвление». Для работы по этой методике во время эксперимента интересный момент отмечают командой с кодом. Кодовое слово или образ выбирают из заметных деталей проблемной ситуации или из речи и зарисовок испытуемого. Эта команда никак не возмущает ход размышлений и не осознается, а лишь резервирует возможность впоследствии вернуться в помеченный момент времени при помощи вспышки пережитого». По команде наступает мгновенное восстановление прошлого состояния психики, после чего процесс мышления подчиняется внутренним законам. Как видно из эксперимента, сначала этот процесс сходен с первоначальным, а затем появляются какие-то отклонения.

Методика «разветвление» позволяет делать независимые повторения одного и того же опыта с одним и тем же испытуемым (см. *опыт 1*).

*Опыт 1.* Испытуемый проводил через лабиринт макет тележки. Момент начала решения задачи помечался командой «Запомнить НАЧАЛО!». После окончания решения и возвращения тележки в начальную точку давалась команда «Восстановить положение НАЧАЛО!». Испытуемый вновь начинал решать задачу. При многократном повторении этого цикла испытуемому каждый раз казалось, что лабиринт он проходил впервые, в его действиях не было видно следов обучения.

Психическое состояние, помеченное по методике «разветвление», можно восстановить неограниченное число раз. Метка не должна быть «затерта» новой командой с тем же кодовым словом: приходится следить, чтобы новые слова-метки не совпали с ранее использованными. Неудобства легко избежать в тех случаях, когда достаточно однократное восстановление, например, при совмещении решения задачи с активным самоанализом благодаря тому, что ведущий вклинивает в размышления испытуемого отрезки времени для самоанализа и диалога. Для осуществления таких временных вставок применяется модификация предыдущей методики — методика «прерывания».

Методика «прерывание» использует постоянные коды-команды: Стоп! — для создания неименованной метки; Пуск! — для восстановления состояния. Все, что было внутри интервала «прерывания», амнезируется. Субъективно для испытуемого течение времени не терпит разрыва.

После всех экспериментов с применением «прерывания» испытуемые утверждали, что задачи они решали без отвлечений и с ведущим никаких бесед не вели. Данная методика иллюстрируется следующими опытами.

*Опыт 2.* Испытуемый в уме перемножает два многозначных числа. Ведущий, контролируя этот процесс при помощи методики «речь», произвольно прерывает умножение и дает (также в уме) перемножить два других многозначных числа.

После окончания интервала «прерывания» испытуемый продолжал перемножение первой пары чисел. Не было ни одного сбоя или воспоминания о перерывах в умножении.

*Опыт 3.* В интервале «прерывания» у испытуемого вырабатывают какой-либо условный рефлекс. После выхода из «прерывания» рефлекс переставал срабатывать.

Методику «прерывания» ведущий приводит в действие в те моменты, которые он считает интересными. Подтвердилось ли его предположение, выясняется только тогда, когда «прерывание» уже произошло. При этом некоторые моменты, существенные для принятия решения, оказываются не выявленными. Методика «внутренний стоп», в отличие от предыдущей, передает выбор момента «прерывания» самому испытуемому. Внутренняя команда «стоп» генерируется по условию, сформулированному перед началом эксперимента. В частности, таким условием может быть переполнение каналов вывода информации. Тогда мыслительные процессы, связанные с решением задачи, остаются навливаются до полного выговаривания или выписывания требуемых данных о ходе решения, как и прежде, не возмущая его.

Важным в методике «внутренний стоп» является возможность задания момента генерации команды по условию, существенно связанному с процессом решения. Это иллюстрирует следующий опыт.

*Опыт 4.* В задачах на построение траектории наиболее кратковременная часть каждого эксперимента и самая существенная — это этап планирования. Он начинается в момент предъявления проблемной ситуации и длится секунды. Очевидно, что применение методик «речь», «маркировка», «прерывание» и столь малых интервалах времени ничего дать не может. Методика «внутренний стоп» позволила, напротив, получить весьма подробные самоотчеты. Смена точки фиксации взгляда испытуемого явилась условием, по которому генерировалась команда.

**Фиксированные психологические установки.** Все описанные методики по своей форме укладываются в одну схему: у испытуемого формируется какой-то алгоритм психической деятельности, включающий в себя условие, при котором он реализуется. Каждый такой алгоритм работает автономно, не мешая сознанию и другим подобным алгоритмам. Поскольку он может включаться достаточно сложным условием и в процессе своего функционирования может гибко использовать внешнюю информацию, о нем разрешается говорить, как о неосознаваемой фиксированной психологической установке по принципу Д. Н. У. наде.

В соответствии с теорией Д. Н. Узнадзе возникновению всех психических процессов предшествует состояние, которое ни в какой мере нельзя считать только физиологическим состоянием. Это состояние Д. Н. Узнадзе назвал психологической установкой — готовностью к определенной активности. Оно формируется на основе предшествующего опыта и предопределяет поведение человека, причем психологическая установка им совершенно не осознается [4].

Известно, что фиксированная психологическая установка может быть образована воздействием на сознание систематически воспринимаемых раздражителей и проявляется в форме иллюзорных восприятий. Но в этом случае психологическая установка не прочна и обычно разрушается после нескольких актуализаций во время критического опыта [4]. Более прочные фиксированные психологические установки удается формировать воздействием раздражителей, не воспринимаемых сознанием, т. е. путем субсенсорного введения информации [5]. Наиболее прочные фиксированные психологические установки формируются внушением в гипнозе или в ОССП. Если в гипнозе психологические установки формируются и действуют на фоне значительного торможения коры головного мозга, то в ОССП это происходит без угнетения корковой деятельности, а наоборот, на фоне обострения сознания.

**Методика «многослойность».** В работах Б. И. Хачапуридзе показано, что под воздействием фиксированной установки может происходить смещение зоны осознания в потоке мыслительных процессов [5], т. е. существует механизм, обеспечивающий смещение. Нами установлено, что этот механизм можно тренировать и научить работать значительно эффективней, чем обычно.

В процессе такой тренировки вначале формируется фиксированная психологическая установка, увеличивающая мобильность границ зоны осознания. Для начала легче реализовать «сжатие» зоны осознания: режим с полностью исчезнувшим сознанием субъективно переживается как абсолютное ничто, полное отсутствие мира, восприятия, познания, времени. При этом может происходить заранее заданная умственная работа. Затем зона осознания расширяется до первоначальных размеров.

Следующий этап — это формирование и тренировка фиксированной психологической установки, предназначенной для перемещения зоны осознания: зона осознания сужается, затем расширяется, но уже в новом месте. Далее можно переходить скачком — сперва на уже знакомые места, а затем с условием, что будет найдено место, в котором раньше не приходилось бывать. В процессе таких перемещений каждому интегральному положению зоны осознания присваивается имя и сразу же проводится тренировка получения его имени. В результате

тренировок как бы находятся адреса некоторых «слоев» бессознательного и образуется фиксированная психологическая установка, позволяющая сместить зону осознания на любой из этих «слоев» по найденному адресу.

Методика «многослойность» наиболее эффективна в сочетании с методикой «повторного проигрывания», что позволяет синхронизировать самоотчеты из всех «слоев». В качестве иллюстрации приведем перечень «слоев», найденных у одного из испытуемых.

**ОБРАЗ** — видны очень детализированные, цветные, объемные, динамичные картины. Всякой идее, возникающей в сознании, в этом слое предшествуют картины похожего содержания

**ЦВЕТ** — узоры орнаментального характера.

**СЛОВО** — всплывают отдельные слова и обрывки фраз, по содержанию близкие к картинам из слоя образ.

**ЭМОЦИИ** — очень ясно осознаются все оттенки эмоционального состояния.

**ОБЪЕМ** — ощущаются какие-то пространственные тела.

Если этим «слоям» соответствуют некоторые психические структуры, существенным образом участвующие в мышлении то вмешательство в их работу должно повлиять на ход принятия решения. Сказанное можно продемонстрировать на следующем опыте.

*Опыт 5.* Схема опыта была основана на методике «разветвления». Ход решения, наблюдавшийся первый раз, служил образцом для сравнения. После возврата испытуемого к моменту времени, когда ему известно условие задачи, а решение не начато, зона осознания смещалась на один из «слоев», вращалось «засыпание» этого слоя, после чего зона осознания во вращалась обратно в сознание.

Наблюдение нового хода решения той же задачи показало, что отключение «слоев» **ОБРАЗ** и **СЛОВ** обрывало всякое размышление. Отключение только **ОБРАЗА** делало мышление гипертрофировано логическим и малоэффективным. Отключение только **СЛОВ** превращало дискурсивное мышление в преимущественно образное. Отключение **ЦВЕТА** почти не отражалось на принятии решений, но в «слое» **ОБРАЗ** картины становились плоскими и преимущественно черно-белыми.

Следует подчеркнуть, что отключение **СЛОВ** не исключало появление слов в дискурсивном мышлении, а отключение **ЦВЕТА** — цветных изображений в «слое» **ОБРАЗ**.

Наличие именованных «слоев» бессознательного позволяет формировать установки ввода-вывода, использующие именно эти «слои». Например, по команде «Вывод **СЛОВА** правой рукой!» испытуемый выписывает содержимое «слоя» **СЛОВ**. Зона осознания при этом остается на дискурсивном мышлении.

Системы фиксированных психологических установок. ОССП позволяет оперативно формировать необходимые «одноязычные»

фиксированные психологические установки. При необходимости многократного использования похожих фиксированных психологических установок удобнее сформировать их заранее, а затем применять по мере надобности. Когда «библиотека» фиксированных психологических установок становится достаточно обширной, возникают дополнительные затруднения: удобство пользования, исключение противоречия друг другу, единообразие методов. Короче говоря, возникает необходимость создания системы, а не набора фиксированных психологических установок.

Каждая такая система должна содержать основную фиксированную психологическую установку, которая актуализируется некоторым кодом и по мере надобности актуализирует остальные, а также набор «аварийных» установок, предназначенных для обеспечения безопасности и комфорта. Например, необходимы фиксированные психологические установки, обрабатывающие следующие ситуации: угрожающее изменение внешней обстановки, необходимость удовлетворения каких-либо физиологических потребностей, превышение лимита времени, обращение звне. Наиболее просто на все эти ситуации отвечать выходом в обычное состояние с возможностью восстановления ситуации, имевшейся перед прерыванием, после того, как помеха устранена и ОССП вновь восстановлено для продолжения прерванной работы.

Основная фиксированная психологическая установка постоянно поддерживает положительный эмоциональный фон, кроме того, «добавляет» в среду тест-объект: определенную галлюцинацию, например, цветок или надпись — для контроля состояния. Если тест-объект исчез, значит, по какой-то причине снято ОССП — скорее всего, в результате срабатывания одного из аварийных выходов.

При назначении системы для самостоятельной работы, причем не только с целью исследований интеллектуальной деятельности, термин «испытуемый» теряет свой смысл и заменяется более подходящим: «оператор», «обучаемый», «пользователь».

**Система фиксированных психологических установок для интенсификации обучения.** Система делает обучение более быстрым, эффективным, интересным и легким. Она может использоваться для обучения, ориентированного на запоминание и на выработку навыков — мыслительных, двигательных (у студентов, аспирантов, учащихся, спортсменов и др.) [2].

Эта система включает следующие фиксированные психологические установки: ограничение зоны сознательного восприятия и мышления тем, что непосредственно нужно для занятий; расширение объема внимания; гипермнезия и импринтинг. Первая обеспечивает полную сосредоточенность обучаемого. Его не отвлекают внешний и внутренний «круг внимания». Вторая позволяет удерживать в зоне внимания с четкостью галлюцинаций

больше информации, чем в состоянии бодрствования. Например, если удастся осознать один этап математических выкладок, то ОССП и установка позволяют удерживать внимание на нескольких этапах одновременно. Изучение физики, технических дисциплин и языков облегчается за счет своеобразного галлюциногенного «кинофильма», которым иллюстрируются слова лектора или чтение учебника. Все это интенсифицирует обучение, ибо позволяет обучаемому увлекаться, быть захваченным какой-либо областью знаний репродуктивно, а затем творчески.

Третья фиксированная психологическая установка позволяет извлекать из памяти с четкостью до галлюцинаций все относящееся к данной теме, «впечатывать» в память необходимые данные, а также в кратчайшие сроки формировать навыки, представляя себе «как должно быть» или (в случае двигательных навыков) наблюдая человека, владеющего ими, например, тренера.

Таким образом, в данном сообщении продолжено изложение основанных на ОССП методик, дающих новые возможности выявления и фиксации эвристик, свойственных решениям человека, что является одной из наиболее важных и трудно решаемых проблем в области искусственного интеллекта. Кроме этого показано, что применение ОССП создает перспективы повышения эффективности обучения, а главное — увлеченно и творчески мыслить.

**Список литературы:** 1. Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Короп А. В. Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. Сообщение 1.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1979, вып. 23, с. 110—116. 2. Карев А. В., Ильинская Л. С., Ильинский А. П. Некоторые способы программирования мыслительной деятельности в научном творчестве и обучении — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1972, вып. 8, с. 116—126. 3. Пенфильд В., Робертс Л. Речь и мозговые механизмы. М., Медицина, 1964. 311 с. 4. Узнадзе Д. Н. Экспериментальные основы психологии установки. Тбилиси, Изд-во АН ГССР, 1976. 210 с. 5. Хачапуридзе Б. И. Об отражательной функции установки в связи с проблемой воздействия невоспринимаемых раздражителей.— Труды / Тбилисский ун-т, 1966, т. 124, с. 25—53.

*Поступила 1 ноября 1978 год*

УДК 62—50 : 57

*Д. И. САНАГУРСКИЙ, Е. А. ГОЙДА*

### **ОПИСАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ПОЗИЦИЙ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ**

Изучение интегральных свойств клетки, лежащих в основе регуляции процессов метаболизма и самовоспроизведения структур, обуславливающих функции живых организмов, является весьма актуальным в теоретическом и практическом аспектах [1—5].

Главным звеном адекватной формализации изучаемого явления считается четкая параметризация состояний биологических объектов и вычленения входных и выходных сигналов. Это позволяет даже в отсутствие некоторой количественной информации о состоянии ряда клеточных процессов получить приемлемое описание поведения системы в целом. Перспективными в этом отношении являются работы по описанию явлений генерации колебательных процессов [6, 7], отражающих интегральные свойства объектов, которые возникают на основании ложных взаимодействий элементов структурно-целостной системы.

В связи с этим рассмотрим возможность общего описания биоструктур с позиций их организации, применяя методы идентификации функций с учетом некоторых типов интеграции свойств взаимодействующих элементов. Обсудим случай неизвестной структуры, включающей определенное число элементов с известными характеристиками.

В зависимости от уровня исследования системы, формально интеграцию свойств можно представить следующим образом:

а) для уровня  $R$

$$\Gamma_{S_R} \equiv \sum_{i=1}^n P_i, \quad (S_R \in P_i), \quad (1)$$

где  $S$  — система;  $\Gamma$  — общее или суммарное свойство;  $P_i$  — общее или суммарное свойство системы, эквивалентное совокупности свойств ее ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) на уровне  $R$ ;  $S_R$  — система автономная, а  $P_i$  — составные элементы ее свойств, т. е.  $S_R \in P_i$ ;

б) для случая  $N$  уровней

$$\Gamma_{S_{R_i}^N} \equiv \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^n P_i \equiv \sum_{i=1}^N \Gamma_{S_{R_i}}, \quad \left( S_{R_i} \in \bigcup_{i=1}^n P_i \right),$$

т. е. общее или суммарное свойство многоуровневой системы  $S_{R_i}$  с числом уровней  $N$  является отображением суммарных свойств каждого уровня  $R$ , подчиняющегося соотношению (1).

Такие элементарные представления позволяют обобщить понятия о свойствах систем или могут привести к обратным операциям, т. е. к разложению по свойствам, если известен оператор преобразования единичных свойств  $P_i$  в общее свойство  $S_R$ . На рис. 1 показана произвольная структура, состоящая

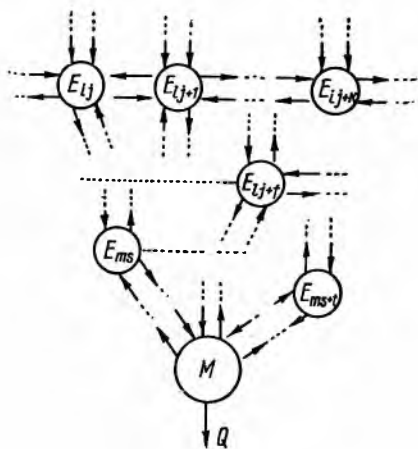


Рис. 1

из элементов  $E_i$ ; оператор взаимодействия  $M$  приводит к проявлению ее общего свойства  $Q$ .

Обратная задача вычисления единичных свойств в сложной системе, в том числе и в биологической, может быть представлена следующей формой

$${}^S P_k \equiv \left[ \sum_{i=1}^n {}^S P_i - \left( \sum_{i=1}^n {}^S P_i - P_i \right) \right].$$

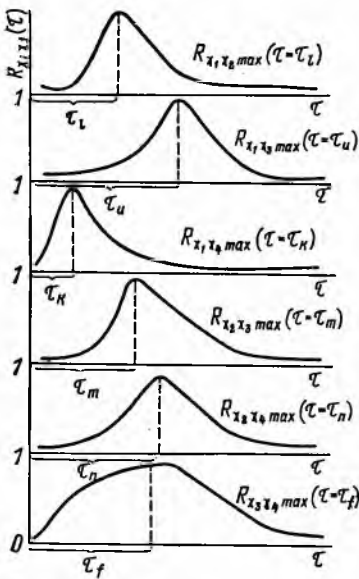


Рис. 2

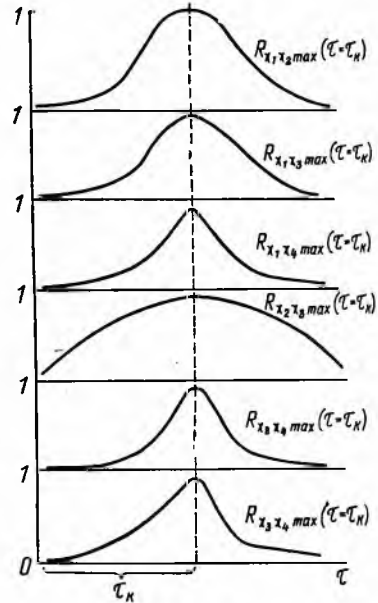


Рис. 3

Для биологических объектов примером интеграции различных свойств (субстратом) может служить строгая регуляция гомеостаза как общего или суммарного свойства, определяющего жизнедеятельность на различных уровнях организации системы.

Таким образом, любую произвольную структуру сложной системы можно представить как последовательность следующего вида:  $Q_M = \Gamma_N \{ \Gamma_{N-1}, \dots, [\Gamma_2, (\Gamma_1)] \dots \}$ , где  $\Gamma$  — общее свойство системы на определенном уровне ее организации.

Примером воспроизведения структуры системы на любом из уровней, генерирующем данное свойство, может служить способ применения методов идентификации, как прием построения матрицы элементов  $E_i$  в сложной системе [8].

Рассмотрим эту задачу более строго. Пусть имеется набор элементов  $E_1, E_2, \dots, E_n$ . Нужно воспроизвести структуру сис-

емы, используя их характеристики. Применяя соотношение для вычисления взаимнокорреляционной функции

$$R_{x_i y_i}(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} x(t) y(t+\tau) dt \quad (2)$$

учетом полной попарной комбинации характеристик элементов, получим

$$C_n^2 R_{x_i y_j}(\tau) \equiv \left| \text{grad } R_{x_i y_j}(\tau_i) \right|_{C_n^2} \quad (3)$$

где  $R_{x_i y_j}(\tau)$  — значение взаимнокорреляционной функции,  $x(t)$  и  $y(t+\tau)$  — временные характеристики элементов  $E_i$ , входящих в систему. Исходя из соотношения (2), можно построить кор-

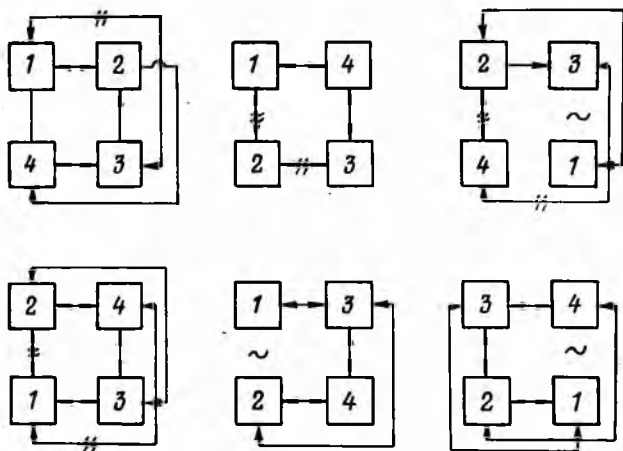


Рис. 4

реляционный профиль, полученный при расчете  $R_{x_i y_j}(\tau)$  всех возможных комбинаций характеристик  $E_i$ , входящих в рассматриваемую систему (рис. 2). Пример с полным совпадением всех максимумов — идеальный случай расчета корреляционного профиля, и, как следствие,  $\tau = \text{const}$  (рис. 3). Используя значения  $R_{x_i y_j}(\tau)$  при  $\tau_1, \tau_2$  и т. д. (рис. 2), получим ряд структур, изображенных на рис. 4. В данном случае рассматривалась комбинация из четырех элементов. Пунктирными линиями обозначены слабые связи в системах открытого типа. Как видно из рис. 4, для каждого фиксированного  $\tau$  существует определенная структура, т. е. можно говорить о «развитии» системы во времени. Структура, представленная на рис. 5, считается фиксированной, так как все максимумы  $R_{x_i y_j}(\tau)$  относятся к одному  $\tau$ .

Аналитически такие структуры можно описать матрицами состояния сложной системы (3), где  $R_{x_i y_j}(\tau) \max_1 > R_{x_i y_j}(\tau_2) \times$

$\times \max_2 > \dots > R_{x_i y_j}(\tau_k) \max_k$ . Компонентами матрицы служат значения  $R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_l$  в порядке возрастания  $\tau$  (первая строка). Каждый столбец содержит значения корреляционных функций по градиенту уменьшения их абсолютных значений в соответствующий момент времени  $\tau$  (для первого столбца —  $\tau_1$ , для второго —  $\tau_2$  и для  $k$ -го —  $\tau_k$ ).

$$\begin{pmatrix} R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_1, R_{x_i y_j}(\tau_2) \max_2, \dots, R_{x_i y_j}(\tau_k) \max_k \\ R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_2, R_{x_i y_j}(\tau_2) \max_3, \dots, R_{x_i y_j}(\tau_k) \max_k \\ R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_k, R_{x_i y_j}(\tau_2) \max_k, \dots, R_{x_i y_j}(\tau_k) \max_k \end{pmatrix}$$

По значениям  $R_{x_i y_j}(\tau_1) \max \dots R_{x_i y_j}(\tau) \max_k$  первого столбца строим структуру системы для момента  $\tau_1$ , элементы которой описываются функциями, позволяющими рассчитать все комбинации взаимнокорреляционных функций. Аналогично поступим и с последующими столбцами. При равенстве значений  $R_{x_i y_j}(\tau) \max_l$  характерно разветвление структуры или наличие обратных связей в такой системе. В случае  $\tau_1 \max = \tau_2 \max$  (все максимумы корреляционных функций соответствуют одному фиксированному значению  $\tau_k$ )

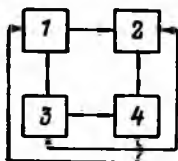


Рис. 5

можно говорить о наличии единственной композиции элементов, генерирующей определенную функцию на всех промежутках ее изучения. Матрица состояния такой структуры выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_1 \\ R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_2 \\ \dots \\ R_{x_i y_j}(\tau_1) \max_k \end{pmatrix} \quad (4)$$

и представляет собой вектор-столбец.

Свойство (4) используется для проверки точности однотипной параллельной реализации. Если все максимумы  $R_{x_i y_j}(\tau)$  соответствуют одному фиксированному  $\tau$ , то можно оценить точность используемого метода, степень стандартности изучаемого явления.

Далее следует описать и изучить уже определенную структуру в виде математической модели для получения численных или аналитических решений.

Список литературы: 1. Гленсдорф П., Пригожин И. Елиньство физических законов и уровней описания. — В кн.: Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М., Мир, 1973, с. 258—263. 2. Гудвин Б. Временная организация клетки. М., Мир, 1966, с. 3—17. 3. Нейфах С. А. — В кн.: Механизмы интеграции клеточного обмена. М., Наука, 1967, с. 9—22. 4. Л. фон Бергаланфи. Общая теория систем (критический обзор). — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., Прогресс, 1969, с. 23—82. 5. Bertalanffy L.

оп. Principles and Theory of Growth.— In: Nowinski W. W. (ed), Fundamental Aspects of Normal and Malignant Growth. Amsterdam, Elsevier, 1960, p. 137—259. 6. Сельков Е. Е. Исследование механизма гликолитических колебаний. Релаксационная модель.— В кн.: Математические модели биологических систем. М., Наука, 1971, с. 5—24. 7. Мембранный потенциал клѳтин зародкѳв вѳюна, инкубованих в середовищах з гѳдрокортизоном, інсуліном та РНК / О. А. Гойда, Д. І. Санагурський, І. Г. Муращик, С. Й. Кусень. Фізіологічний журн., 1977, т. 23, № 2, с. 9—14. 8. Санагурський Д. І., Гойда О. А., Деркач М. П. Математичні аспекти взаємозв'язкѳв біохімічних параметрѳв з клітинними циклами в ранньому ембріогенезі.— Труды / Третій Український біохімічний з'їзд. Донецьк, 1977, с. 304.

Поступила 21 сентября 1978 года

УДК 62.506.2

Ю. И. ЗОЗУЛЯ

## ОБОБЩЕННАЯ ГАРМОНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

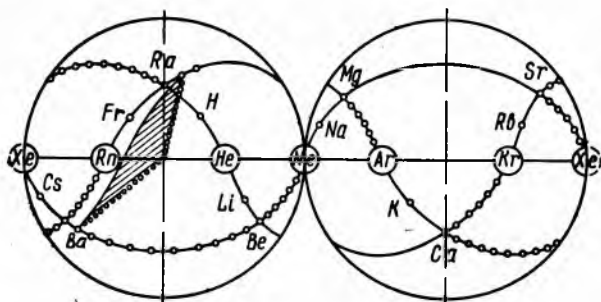
История открытий в искусстве, науке и технике свидетельствует о том, что переход от множества жизненных ситуаций, экспериментальных фактов к их художественному образу, математической или физической модели, и обратно, подчиняется единому закону гармонии, свободно контролируемому творческим человеком [1]. При этом человек выступает в роли некоей обобщенной гармонической системы, устанавливающей соответствие класса систем — реально существующих вне сознания человека, их идеальному образу, модели; системы, способной гармонически замыкаться во всех доступных ей средах.

**Фактический материал.** При формировании системы фактов мы руководствовались методом многоуровневого анализа [2], который предполагает сопоставление фактических данных, полученных на трех уровнях экспериментальных исследований обобщенной гармонической системы: уровне исходных элементов, основных структур и целостной системы. Свойства структур желательно выводить из свойств исходных элементов, а исследование основных структур — направлять на объяснение свойств целостной системы.

В качестве исходных элементов обобщенной гармонической системы достаточно принять множество химических элементов, составляющих материальную основу биологических структур человеческого тела. Связи между свойствами химических элементов, отраженные в плоской периодической таблице Менделеева, для упрощения сопоставлений фактов представим с помощью эквивалентной сферической (объемной) таблицы (см. рис.), в которой лантоноиды и актиноиды вынесены на соответствующие радикальные линии. Химическим элементам, входящим в сложные биохимические соединения, при обмене веществ

характерны процессы присоединения или отдачи электронов. Поэтому для описания свойств химических элементов необходимо использовать две сходные сферические таблицы, одна из которых характеризует электронную оболочку, а другая — ядро атома.

Основными структурами живого организма являются молекулы ДНК и соответствующие им молекулы РНК и белков. Первые в нормальном состоянии имеют вид правильной двойной спирали и несут в своей структуре полную информацию о всех производных структурах живого организма, в том числе и о структуре тела целого организма, его зародыша и плодов.



Благодаря сознательной общественно значимой психонервной деятельности организм человека в отличие от животного способен выступать в природе как отдельное целое. Поэтому именно в особенностях этой деятельности и в свойствах соответствующих ей психических состояний можно искать и найти признаки искомой обобщенной гармонической системы. Однако как раз в этой области знаний имеется наименьшая ясность.

Правда, психические состояния, как и разновидности сознательной психонервной деятельности, можно представить компактным множеством точек в трехмерном пространстве симптомокомплексов [3] ( $\psi$  — пространстве) с тремя осями обобщенных координат, отражающих основные свойства нервной системы. Психофизиологические опыты показывают, что в норме эквивалентные психические состояния представлены в  $\psi$ -пространстве точками на поверхностях, сечения которых плоскостями имеют вид окружности [4]. Кроме того, различение внутреннего мира и маски личности требует для отражения ее известных состояний пары сходных сферических поверхностей, но уже в некотором парном  $\psi$  пространстве.

**Теоретические предпосылки.** Каково бы ни было многомерное отношение  $S$ , возникающее в циклах взаимодействия между элементами абстрактной системы, являющейся моделью класса реальных систем, путем декомпозиции это отношение без каких-либо дополнительных ограничений можно свести к набору трех-

известных отношений, связанных между собой также трехместным отношением — законом композиции [5]. Иначе говоря, минимальная размерность пространства, в котором можно мыслить об отношениях между элементами произвольной системы, равна трем. Простейшей математической моделью такого пространства является трехмерное линейное векторное пространство над произвольным полем  $P$ .

Замыкание этого векторного пространства относительно умножения трехмерных векторов приводит к линейной алгебре кватернионов над полем  $P$ . А процедура удвоения кватернионов [6] дает возможность перейти к замечательной по своим свойствам линейной алгебре Кэли — Диксона над полем  $P$  [7].

С другой стороны, используя принцип перенесения [8], фиксирующий переход от пространства дуг на сферу к пространству винтовых линий, можно породить алгебру двойных чисел над алгеброй Кэли — Диксона, определенной над произвольным полем  $P$ . Остается только показать, что эта алгебра, отражающая цикличность и поступательность эволюции реальных систем геометрию молекул ДНК, составляет основу модели обобщенной гармонической системы.

Необходимо установить, при каких условиях в цикле взаимодействия организма человека с объектом возникают гармонические отношения и не связаны ли они с элементами названной алгебры. При этом качественное изменение класса объектов, взаимодействующих с организмом человека, должно отражаться в изменении поля  $P$ .

**Теория согласования.** Отношения, которые устанавливаются между элементами обобщенной гармонической системы, обеспечивают сохранение ее целостности и согласованности функций отдельных элементов, т. е. «обобщенная система есть замкнутая система, остающаяся замкнутой во всех возможных средах» [9, с. 185].

В работе [10] показано, что отношение  $S_{ii}$  в любом  $i$ -ом цикле преобразования сигналов обобщенной гармонической системой может мыслиться лишь как некоторое обобщение отношения эквивалентности  $R_i$ , которое обладает свойствами рефлексивности, симметричности и транзитивности. Расширение набора этих свойств, отражающееся в прибавлении к названным четким терминам приставок не- и анти-, позволяет охватить множество базисных отношений [11], которые выступают в качестве исходных элементов и бинарных отношений между ними. Стало быть, для базисной системы отношений понятия «элемент» и «бинарное отношение» соединяются в одно целое, в некоторое «элементоотношение», близкое к понятию «число».

Рассмотрим множество  $X$  элементоотношений такое, что  $\forall x, y, z: (x \in X) \wedge (y \in X) \Rightarrow [(x, y) \in X] \wedge [(y, x) \in X] \wedge [x, x] \in X] \wedge [(y, z) \in X]$ .

Поскольку путем расстановки скобок любой конечный набор элементоотношений можно свести к иерархии их пар, множество  $X$  должно также включать в себя любой конечный набор элементоотношений. Однако в случае однородных конечных наборов структура элементов множества становится несколько проще. Так, любой конечный набор может быть представлен в виде ассоциативной композиции троек [5].

Например:  $(a, b, c, d, e) = (a, b, x) \cdot (x, c, y) \cdot (y, d, e)$ , где закон композиции сводится к операции умножения бинарных отношений  $(a, b, x) \cdot (x, c, y) = ((a, b), x) \cdot (x, (c, y)) = ((a, b), (c, y)) = (a, b, c, y)$ ;  $(x, c, y) \cdot (y, d, e) = ((x, c), y) \cdot (y, (d, e)) = ((x, c), (d, e)) = (x, c, d, e)$ .

В случае циклических конечных наборов элементоотношений, характерных для замкнутых систем, возможно более простое представление закона композиции в виде

$$(a, b, c, d, e) = (a, b, b) \cdot (b, c, c) \cdot (c, d, d) \cdot (d, e, e) (e, a, a);$$

$$(a, b, c, d, e) = (a, a, b) \cdot (b, b, c) \cdot (c, c, d) \cdot (d, d, e) \cdot (e, e, a), \quad (1)$$

где

$$(a, b, b) \cdot (b, c, c) = (a, b, c, c); \quad (a, a, b) \cdot (b, b, c) = (a, a, b, c) \quad (2)$$

при

$$(a, b, b) = (a, (b, b)) = ((a, b), b); \quad (b, b, c) = (b, (b, c)) = ((b, b), c). \quad (3)$$

Из соотношения (2) следует, что рассматриваемый закон композиции, кроме переноса связывающей пары элементов идеала  $(a, a)$  или  $(c, c)$ , задает переход  $(a, \dots, \dots) \cdot (b, \dots, \dots) = ((a, b), \dots, \dots)$ ;  $(\dots, \dots, b) \cdot (\dots, \dots, c) = (\dots, \dots, (b, c))$ .

Но, так как тройки тоже представляют собой элементоотношения, из выражения (3) получим  $(a, \dots, \dots) \cdot [(b, \dots, \dots) \times (b, \dots, \dots)] = [(a, \dots, \dots) \cdot (b, \dots, \dots)] \cdot (b, \dots, \dots)$ ;  $(\dots, \dots, b) \cdot [(\dots, \dots, b) \cdot (\dots, \dots, c)] = [(\dots, \dots, b) \cdot (\dots, \dots, c)] \cdot (\dots, \dots, c)$ , т. е. закон композиции в общем случае является не ассоциативным, а альтернативным [7]. Известно, что существует единственная конечномерная альтернативная действительная (линейная) алгебра с делением, алгебра Кэли; ее естественное расширение — алгебра Кэли—Диксона над произвольным полем  $P$  [7]. Замечательно то, что алгебра Кэли предельна по размерности конечномерной действительной алгеброй с делением.

Каждый элемент такой алгебры может быть выражен через специальную тройку элементов  $i, j, k$  [12], которые в случае исходного множества  $X$  с операциями умножения и сложения элементоотношений можно отождествить с тремя свойствами отношения эквивалентности:  $i$  — рефлексивность,  $j$  — симметричность,  $k$  — транзитивность.

Возможны две эквивалентные формы представления элементоотношения  $x$ :  $x = \alpha + \beta i + \gamma j + \delta k + \epsilon ij + \lambda ik + \mu jk + \nu ijk$ ;  $x =$

$= (\alpha + \beta i + \gamma j + \delta k) + (\epsilon + \lambda i + \mu j + \nu k) e, e^2 = -1$ , где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \mu, \nu \in P$ .

Последняя форма может быть рассмотрена как обобщенное представление парного трехмерного вектора вида  $\vec{x} + \vec{y}e, \vec{x}, \vec{y} \in R^3$ . В общем случае основное поле  $P$  может быть произвольным, например, полем матриц, функций или интегральных преобразований.

Для того, чтобы включить во множество элементоотношений  $X$  бесконечные эволюционные последовательности, учитывающие цикличность и поступательность движения объектов действительности, необходимо расширить поле  $P$  до алгебры дуальных чисел над полем  $P$  с элементами вида  $\alpha_1 + \alpha_2 \omega, \omega^2 = 0, \alpha_1, \alpha_2 \in P$ , которые используются для описания движения твердого тела в прикладной механике [8].

Изменение поведения эволюционно развивающейся системы в критической точке траектории ее движения может быть описано дифференциальным уравнением [13]  $\frac{dx}{dt} = ax + bx^2 + cx^3$ ,

помощью которого моделируются не только эволюционные, но и революционные (релаксационные) изменения системы. При этом траектории движения развивающейся целостной системы могут быть представлены в соответствующем фазовом пространстве эволюционных кривых (в нем возможен количественный и качественный анализ динамики системы).

В частном случае наблюдается экспоненциальное развитие системы в соответствии с уравнением  $\frac{dx}{dt} = ax; a > 0$ , характерным, например, для отдельных фаз экологических, экономических, идеологических и других видов кризисов. Представляет интерес математическое моделирование этих форм кризисов для выработки стратегии поведения человека в естественной критической ситуации [14].

В случае пространственно распределенных динамических систем, описываемых в циклах взаимодействия интегральным уравнением

$$\begin{aligned} P(x, t) &= P_0(x) + \varphi \int_{\Omega} G(x-x', t-t') P(x', t') dt' dx' = \\ &= P_0(x) + \varphi G(x, t) \cdot P(x, t) \end{aligned} \quad (4)$$

ядром [15]

$$G(x, t) = G_0(x, t) = (a_s + b_s \square_{\sigma}) \omega_s(x, t), \quad (5)$$

условие согласования имеет вид  $\square_{\sigma} \omega_s(x, t) = 0, a_s = 1, P_0(x) = 0, \varphi = 1$ , т. е. согласованной является физическая среда с нулем и без источников. Любые возмущения в среде могут быть учтены в уравнении  $\square_{\sigma} \omega_s(x, t) = f(x, t)$ , описывающем волновые процессы в естественных средах, широко распространенном в физических теориях. Функция  $\omega_s(x, t)$  в идеальном случае согласования ( $\epsilon \rightarrow 0$ ) может принимать форму корпускулы  $\delta(x, t)$  или

форму волны  $\exp i(\omega t - kx)$ . При этом в цикле взаимодействия преобразование (4) сводится к тождественному или голографическому.

**Модель обобщенной гармонической системы.** Интерпретация соотношения (5) применительно к системам восприятия и действия психики человека [15] привела нас к дополнению их системой ассоциативной памяти, расширяющей функциональные возможности обобщенной гармонической системы. Формально этот переход может быть представлен этапами преобразования уравнения (5) через  $G_0(x, t) [\square_{\nu\omega_s}(x, t)]^{-1} = a_s \omega_s(x, t) [\square_{\nu\omega_s}(x, t)]^{-1} + b_s \delta(x, t)$  к соотношению:

$$\frac{a_s}{b_s} \{ a_s^{-1} G_0(x, t) \cdot [\square_{\nu\omega_s}(x, t)]^{-1} - \square_{\nu}^{-1} \delta(x, t) \} = \delta(x, t).$$

Далее, рассматривая ядро преобразования (4) как сложное, в любом  $j$ -ом состоянии согласования состоящее из инвариантной части  $G_0(x, t)$  и индивидуальной, присущей данному единичному состоянию,  $G_j(x, t)$  так, что  $G(x, t) = G_0(x, t) + G_j(x, t)$  и, сохраняя условие (5), получим из (6)

$$\frac{a_s}{b_s} \{ a_s^{-1} G(x, t) \cdot [\square_{\nu\omega_s}(x, t)]^{-1} - \square_{\nu}^{-1} \delta(x, t) - a_s^{-1} G_j(x, t) \times \\ \times [\square_{\nu\omega_s}(x, t)]^{-1} \} = \delta(x, t).$$

Состояние  $P(x, t)$  связано с действием  $Q(x, t)$  в интерпретации [15] уравнением  $P(x, t) = [\square_{\nu\omega_s}(x, t)] \cdot Q(x, t)$ .

В более общем случае ядро в (4) является многозначной функцией, каждая  $j$ -ая ветвь  $G_j(x, t)$  которой сопряжена с определенным известным состоянием  $P_j(x, t)$ , поэтому

$$P_j(x, t) = P_0(x) + \varphi \int_{\Omega} G(x, x', t, t') P_j(x', t') dt' dx',$$

$$G(x, x', t, t') = G_0(x - x', t - t') + \sum_{i,k} g_{ik} [P_i(x', t')] G_i(x, t) G_k(x', t') = G_0(x - x', t - t') + G_l(x - x', t - t').$$

Если же структура памяти  $g_{ik} [P_i(x', t')]$  не выдерживает испытаний времени и появляется состояние  $\tilde{P}(x, t)$ , существенно отличающееся от известных  $P_j(x, t)$ ,  $j = \text{var}$ , отраженных в системах действия и ассоциативной памяти, возникает необходимость существенной перестройки всей системы памяти. Прежде всего, не разрушая согласованности, целостности нейронных структур, можно сделать ее более многомерной, преобразуя всякое прежнее состояние  $P_j(x, t)$  в очищенное  $P_j^*(x, t)$  и в его новое дополнение  $P_j^{**}(x, t)$ , рассматривая их в рамках алгебры Кэли—Диксона с элементами  $P(x, t) = P^*(x, t) + P^{**}(x, t)$  и  $e^2 \in \{-1, 0\}$ . Значит, в общем случае состояния, как и связи между ними, представляются гиперкомплексными (альтернативными) функциями гиперкомплексного переменного. Следующим

шагом является выведение альтернативных свойств функции  $P(x, t)$  из альтернативных свойств ее аргумента, что равнозначно заполнению исходного множества  $X$ , его элементов новым содержанием. Последнее отражает характер возможных неразрушающих изменений отношений между психическими состояниями (темперамент) человека, живущего в этом мире, отношений между материальными сущностями, соответствующими этим состояниям и определяющими эти состояния.

От скорости переосмысливания этих изменяющихся отношений зависят индивидуальные возможности становления человека совместно с дополняющими его, но не всегда согласованными с ним общественными и техническими системами.

**Список литературы:** 1. *Мещеряков В. Т.* Гармония и гармоническое развитие. Л., Наука, 1976. 119 с. 2. *Зозуля Ю. И.* Метод многоуровневого анализа нелинейных динамических систем мозга.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1974, вып. 13, с. 3—14. 3. *Мерлин В. С.* Проблемы экспериментальной психологии личности (главы из монографии). Пермь, 1970, вып. 6. 117 с. 4. *Алагулов Р. И.* О возрастной и типологической структуре свойств темперамента в подростковом возрасте.— В кн.: Экспериментальные исследования личности и темперамента. Пермь, 1971, вып. 7, с. 45—70. 5. *Месарович М.* Основания общей теории систем.— В кн.: Общая теория систем. М., Мир, 1966, с. 15—48. 6. *Кантор И. Л., Солодовников А. С.* Гиперкомплексные числа. М., Наука, 1973. 144 с. 7. *Курош А. Г.* Лекция по общей алгебре. М., Наука, 1973. 399 с. 8. *Диментберг Ф. М.* Метод винтов в прикладной механике. М., Машиностроение, 1971. 264 с. 9. *Черчмен Ч.* Один подход к общей теории систем.— В кн.: Общая теория систем. М., Мир, 1966, с. 183—186. 10. *Зозуля Ю. И.* Согласование элементов бионической системы в циклах взаимодействия.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 18, с. 10—20. 11. *Бугай Ю. П.* Свойства отображения и бионическое моделирование нервной системы. Сообщение 6.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1977, вып. 17, с. 21—29. 12. *Скорняков Л. А.* Альтернативные тела.— Укр. мат. журнал, 1950, т. 2, № 1, с. 70—85. 13. *Молчанов А. М.* Критические точки биологических систем (математические модели).— В кн.: Математическое моделирование в биологии. М., Наука, 1975 с. 142—153. 14. *Молчанов А. М.* Математические модели в экологии. Роль критических режимов.— В кн.: Математическое моделирование в биологии. М., Наука, 1975, с. 133—141. 15. *Зозуля Ю. И.* О степени согласования элементов в системе.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1976, вып. 16, с. 44—48.

*Поступила 1 ноября 1978 года*

УДК 62.506.2

*Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, Т. Г. ДОЛЖЕНКОВА*

## **ВОПРОСЫ НОРМАЛИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СООБЩЕНИЕ 1**

В работах [1—3] рассмотрены вопросы нормализации изображений в классах эквивалентности, порождаемых группами преобразований. Примерами таких групп являются смещения, повороты, растяжения изображений, их аффинные преобразования.

В данном сообщении общие идеи нормализации изображений распространяются на отдельные классы нелинейных преобразований.

Пусть  $M$  — некоторое множество изображений, заданных функцией  $B(x, y)$  распределения яркости на плоскости. Задано разбиение множества  $M$  на подмножества  $\{m_a\}$ . Разбиение, как известно, определяет на множестве  $M$  отношение эквивалентности т. е. некоторые изображения  $B_1$  и  $B_2$  будут эквивалентны, если найдется такое  $m_a$ , что  $B_1, B_2 \in m_a$ .

Выделим в каждом классе эквивалентности по одному элементу  $B_0$ , который назовем эталонным изображением. Пусть  $M_0$  — множество таких эталонов. Тогда согласно общему определению, приведенному в [1], нормализатор есть отображение вида  $F: M \rightarrow M_0$ .

Пусть изображение  $B(x)$ , определенное на отрезке  $[c, b]$ , получено из эталонного изображения  $B_0(x)$  с помощью следующего преобразования

$$B(x) = B_0(ax^2), \quad x \geq 0. \quad (1)$$

Для определения параметра  $a$  воспользуемся следующим интегральным функционалом

$$\Phi(B) = \int_c^b B(x) \, dx. \quad (2)$$

В качестве функционала эталона возьмем  $\Phi(B_0) = \int_c^b B_0(x) \, dx$ . Используя соотношение (1), запишем выражение (2) в виде  $\Phi(B) = \int_c^b B_0(ax^2) \, dx$ .

В полученном интеграле выполним замену переменной  $ax^2 = u$ . Полагая, что всевозможные преобразования типа (1) не выводят изображение  $B(x)$  за пределы области определения. Следовательно, область интегрирования при замене переменной не изменится. Тогда

$$\Phi(B) = \int_c^b B_0(u) \sqrt{\frac{u}{a}} \frac{du}{2a \sqrt{\frac{u}{a}}} = \frac{1}{2a} \Phi(B_0).$$

Откуда  $a = \Phi(B_0)/[2\Phi(B)]$ . Для рассматриваемого преобразования оператор нормализации  $F$  находится, как результат суперпозиции двух операторов

$$F = F_2 F_1 [B(x)] = F_2 \left[ B_0 \left( \frac{2\Phi(B)}{\Phi(B_0)} ax^2 \right) \right] = F_2 [B_0(x^2)] = B_0(x), \quad (3)$$

где  $F_1$  — оператор преобразования, приводящий изображение  $B(x)$  к изображению  $B_0(x^2)$ ;  $F_2$  — оператор преобразования, приводящий изображение  $B_0(x^2)$  к эталонному  $B_0(x)$ .

Рассмотрим случай, когда функция  $B(x)$  связана с эталонной функцией  $B_0(x)$  зависимостью

$$B(x) = B_0(a_1x^2 + a_2), \quad x \geq 0. \quad (4)$$

Для нахождения параметров  $a_i (i = 1, 2)$  используем интегральные функционалы

$$\Phi_i(B) = \int_c^b B(x) K_i(x) dx \quad (i = 1, 2), \quad (5)$$

где  $K_i(x)$  — некоторые функции, имеющие следующий вид:

$$K_1(x) = x; \quad K_2(x) = x^3. \quad (6)$$

Полагаем, что эталонные функционалы также представляются в интегральной форме

$$\Phi_i(B_0) = \int_c^b B_0(x) K_i^0(x) dx \quad (i = 1, 2), \quad (7)$$

где

$$K_1^0(x) = 1; \quad K_2^0(x) = x. \quad (8)$$

Выполнив в выражении (4) замену переменной  $a_1x^2 + a_2 = u$  и учитывая (5)—(8), получим

$$\Phi_1(B) = \int_c^b B_0(u) \sqrt{\frac{u-a_2}{a_1}} \frac{du}{2a_1 \sqrt{\frac{u-a_2}{a_1}}} = \frac{1}{2a_1} \Phi_1(B_0); \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Phi_2(B) &= \int_c^b B_0(u) \left( \sqrt{\frac{u-a_2}{a_1}} \right)^3 \frac{du}{2a_1 \sqrt{\frac{u-a_2}{a_1}}} = \\ &= \frac{1}{2a_1^2} [\Phi_2(B_0) - a_2 \Phi_1(B_0)]. \end{aligned}$$

Откуда искомые параметры  $a_i (i = 1, 2)$  определяются следующим образом:

$$a_1 = \frac{\Phi_1(B_0)}{2\Phi_1(B)}; \quad a_2 = \frac{2\Phi_1^2(B) \Phi_2(B_0) - \Phi_2(B) \Phi_1^2(B_0)}{2\Phi_1^2(B) \Phi_1(B_0)}.$$

Оператор нормализации для преобразования (4) имеет вид

$$F = F_2 F_1 [B(x)] = F_2 \left\{ B \left[ \frac{2\Phi_1(B)}{\Phi_1(B_0)} x^2 - \left( \frac{2\Phi_1^2(B) \Phi_2(B_0) - \Phi_2(B) \Phi_1^2(B_0)}{2\Phi_1^2(B) \Phi_1(B_0)} \right) \right] \right\} = F_2 [B_0(x^2)] = B_0(x). \quad (10)$$

Перейдем к рассмотрению более сложных преобразований. Пусть изображение (зрительная картина), однозначно характеризуемое функцией яркости  $B(x, y)$  в поле зрения  $D$ , задано в декартовой системе координат и получено из эталонного  $B_0(x, y)$  с помощью преобразования

$$B(x, y) = B_0(a_1x^2, a_2y^2), \quad x, y \geq 0. \quad (11)$$

Пользуясь рассуждениями, изложенными выше для преобразований (1), (4), строим интегральные функционалы

$$\begin{aligned} \Phi_i(B) &= \iint_D B(x, y) K_i(x, y) dx dy = \\ &= \iint_D B_0(a_1x^2, a_2y^2) K_i(x, y) dx dy \quad (i = 1, 2, \dots, n). \end{aligned} \quad (12)$$

Выполним в выражениях (12) замену переменных:

$$a_1x^2 = u; \quad a_2y^2 = v. \quad (13)$$

Полагая, как и ранее, что все преобразования вида (13) не выводят изображение  $B(x, y)$  за пределы поля зрения  $D$ , получим:

$$x = \sqrt{\gamma_1 u}; \quad y = \sqrt{\gamma_2 v}, \quad (14)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2$  — параметры преобразования, обратные искомым параметрам  $a_1$  и  $a_2$ .

Якобиан преобразования (14) равен

$$I(u, v) = \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial v} - \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial u} = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{4 \sqrt{\gamma_1 u} \sqrt{\gamma_2 v}}. \quad (15)$$

Обозначим  $\frac{1}{4} \gamma_1 \gamma_2 = \Delta$ .

Функции  $K_i(x, y)$  в выражениях (12) необходимо подбирать так, чтобы можно было разрешить уравнения  $\Phi_i(B) = f(\gamma_j \Phi_k(B_0))$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, l; k = 1, 2, \dots, m$ ) относительно параметров  $\gamma_j$ . Здесь  $\Phi_k(B_0)$  — функционалы эталонных изображений.

Рассматриваемое семейство преобразований (11) — двухпараметрическое ( $l = 2$ ). В этом случае, как легко убедиться, минимальное число независимых функционалов равно трем ( $n = 3$ )

В качестве функций  $K_i(x, y)$  возьмем следующий набор линейно независимых полиномов от двух переменных:

$$K_1(x, y) = xy; \quad K_2(x, y) = xy^3; \quad K_3(x, y) = x^3y. \quad (16)$$

После замены переменных, как показано в формулах (13)—(15) и с учетом (16), выражения (12) примут вид:

$$\Phi_1(B) = \Delta \iint_D B_0(u) \frac{\sqrt{\gamma_1 u} \sqrt{\gamma_2 v}}{\sqrt{\gamma_1 u} \sqrt{\gamma_2 v}} dudv = \Delta \iint_D B_0(u, v) dudv; \quad (17)$$

$$\Phi_2(B) = \Delta \iint_D B_0(u) \frac{\sqrt{\gamma_1 u} (\sqrt{\gamma_2 v})^3}{\sqrt{\gamma_1 u} \sqrt{\gamma_2 v}} dudv = \Delta \gamma_2 \iint_D B_0(u, v) v dudv;$$

$$b_3(B) = \Delta \iint_D B_0(u) \frac{(V\gamma_1 u)^3 V\gamma_2 v}{V\gamma_1 u V\gamma_2 v} dudv = \Delta\gamma_1 \iint_D B_0(u, v) ududv.$$

Функционалы эталонов  $\Phi_k(B_0)$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) имеют вид, аналогичный (12). Анализируя (17) можно заключить, что ядра этих функционалов  $K_k^0(x, y)$  в простейшем варианте следующие:

$$K_1^0(x, y) = 1; \quad K_2^0(x, y) = y; \quad K_3^0(x, y) = x. \quad (18)$$

Здесь  $m = 3$ .

Учитывая соотношения (18), выражения (17) перепишем следующим образом:

$$\Phi_1(B) = \Delta\Phi_1(B_0); \quad \Phi_2(B) = \Delta\gamma_2\Phi_2(B_0); \quad \Phi_3(B) = \Delta\gamma_1\Phi_3(B_0), \quad (19)$$

где

$$\Phi_1(B_0) = \iint_D B_0(x, y) dx dy; \quad \Phi_2(B_0) = \iint_D B_0(x, y) y dx dy;$$

$$\Phi_3(B_0) = \iint_D B_0(x, y) x dx dy.$$

Решая уравнения (19), определяем параметры  $\gamma_j$  ( $j = 1, 2$ ):

$$\gamma_1 = \frac{\Phi_3(B) \Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B) \Phi_3(B_0)}; \quad \gamma_2 = \frac{\Phi_2(B) \Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B) \Phi_2(B_0)}.$$

Зная  $\gamma_j$ , можно легко найти искомые параметры  $a_j$  преобразования (11). Оператор нормализации для данного преобразования строим с учетом разработанного ранее [4] подхода для конструирования операторов нормализации при аффинных преобразованиях. Полагаем, что матрица  $A = \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix}$  — невырожденная, так же, как и вычисленная матрица  $C = \begin{pmatrix} \gamma_1 & 0 \\ 0 & \gamma_2 \end{pmatrix}$ . Таким образом,

$$\begin{aligned} F &= F_2 F_1 [B(x, y)] = F_2 \left[ B \left( \frac{\Phi_3(B) \Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B) \Phi_3(B_0)} x^2, \frac{\Phi_2(B) \Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B) \Phi_2(B_0)} y^2 \right) \right] = \\ &= F_2 \left[ B_0 \left( AC \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \end{pmatrix} \right) \right] = F_2 [B_0(x^2, y^2)] = B_0(x, y). \end{aligned} \quad (20)$$

Список литературы: 1. *Путятин Е. П.* Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение I.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1973, вып. 10, с. 82—89. 2. *Путятин Е. П., Третьин М. С.* Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение II.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1974, вып. 12, с. 78—85. 3. *Путятин Е. П., Третьин М. С.* Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение III.— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1974, вып. 12, с. 85—94. 4. Нормализация изображений при аффинных преобразованиях / *Е. П. Путятин, В. П. Юрченко, В. Б. Левиков, В. А. Берман.*— В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1972, вып. 8, с. 44—52.

Поступила 19 декабря 1978 года

Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, Т. Г. ДОЛЖЕНКОВА

## ВОПРОСЫ НОРМАЛИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СООБЩЕНИЕ 2

Данная статья является продолжением работы [1] с сохранением тех же обозначений. Используются методологические предпосылки, изложенные в работах [2—5].

Рассмотрим такое нелинейное преобразование, при котором между изображениями  $B(x, y)$  и эталонным  $B_0(x, y)$  существует следующая зависимость:

$$B(x, y) = B_0(a_1x^2 + a_2y^2, a_3x^2 + a_4y^2), \quad x, y \geq 0. \quad (1)$$

При отыскании параметров  $a_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) данного преобразования воспользуемся методикой, изложенной в работе [1].

Рассмотрим функционалы

$$\Phi_i(B) = \iint_D B(x, y) K_i(x, y) dx dy, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Сделаем замену переменных  $a_1x^2 + a_2y^2 = u$ ,  $a_3x^2 + a_4y^2 = v$ , предполагая здесь и далее, что такие преобразования не выводят изображение за пределы поля зрения.

Имеем

$$x = \sqrt{\gamma_1 u + \gamma_2 v}; \quad y = \sqrt{\gamma_3 u + \gamma_4 v}, \quad (3)$$

где  $\gamma_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) определяются через параметры  $a_j$ .

Якобиан преобразования (3) равен

$$I(u, v) = \frac{\partial x \partial y}{\partial u \partial v} = \frac{\partial x \partial y}{\partial v \partial u} = \frac{\Delta}{\sqrt{\gamma_1 u + \gamma_2 v} \sqrt{\gamma_3 u + \gamma_4 v}}, \quad (4)$$

где  $\Delta = (\gamma_1 \gamma_4 - \gamma_2 \gamma_3)/4$ .

Число функционалов (2) должно быть не менее пяти ( $n = 5$ ), поскольку семейство исходных преобразований (1) — четырехпараметрическое.

Функции  $K_i(x, y)$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} K_1(x, y) &= xy; & K_2(x, y) &= xy^3; & K_3(x, y) &= x^3y; \\ K_4(x, y) &= xy^5; & K_5(x, y) &= x^5y. \end{aligned} \quad (5)$$

Функционалы  $\Phi_i(B)$  после замены переменных (3) и в результате подстановки равенств (5) примут вид:

$$\begin{aligned} \Phi_1(B) &= \Delta \iint_D B_0(u, v) dudv; \\ \Phi_2(B) &= \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_3 u + \gamma_4 v) dudv; \\ \Phi_3(B) &= \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_1 u + \gamma_2 v) dudv; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Phi_4(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_3^2 u^2 + 2\gamma_3\gamma_4 uv + \gamma_4^2 v^2) dudv;$$

$$\Phi_5(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_1^2 u^2 + 2\gamma_1\gamma_2 uv + \gamma_2^2 v^2) dudv.$$

Зададим эталонные функционалы следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi_1(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) dx dy; & \Phi_2(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) y dx dy; \\ \Phi_3(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) x dx dy; & \Phi_4(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) xy dx dy; \\ \Phi_5(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) y^2 dx dy; & \Phi_6(B_0) &= \iint_D B_0(x, y) x^2 dx dy. \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая выражения (6) и (7), получим уравнения

$$\begin{aligned} \Phi_1(B) &= \Delta \Phi_1(B_0); & \Phi_2(B) &= \Delta [\gamma_3 \Phi_3(B_0) + \gamma_4 \Phi_2(B_0)]; \\ \Phi_3(B) &= \Delta [\gamma_1 \Phi_3(B_0) + \gamma_2 \Phi_2(B_0)]; \\ \Phi_4(B) &= \Delta [\gamma_3^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_4^2 \Phi_5(B_0) + 2\gamma_3\gamma_4 \Phi_4(B_0)]; \\ \Phi_5(B) &= \Delta [\gamma_1^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_2^2 \Phi_5(B_0) + 2\gamma_1\gamma_2 \Phi_4(B_0)]. \end{aligned} \quad (8)$$

Решая систему нелинейных уравнений (8), найдем параметры:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{-R \pm \sqrt{R^2 - 4QT}}{2Q}; & \gamma_2 &= H - E\gamma_1; \\ \gamma_3 &= \frac{-Z \pm \sqrt{Z^2 - 4QS}}{2Q}; & \gamma_4 &= W - E\gamma_3, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} Q &= \Phi_6(B_0) - \frac{2\Phi_4(B_0)\Phi_3(B_0)}{\Phi_2(B_0)} + \frac{\Phi_3^2(B_0)\Phi_5(B_0)}{\Phi_2^2(B_0)}; \\ R &= \frac{2\Phi_3(B)\Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B)\Phi_2^2(B_0)} [\Phi_4(B_0)\Phi_2(B_0) - \Phi_5(B_0)\Phi_3(B_0)]; \\ T &= \frac{\Phi_3^2(B)\Phi_1^2(B_0)\Phi_5(B_0) - \Phi_5(B)\Phi_1(B_0)\Phi_1(B)\Phi_2^2(B_0)}{\Phi_1^2(B)\Phi_2^2(B_0)}; \\ H &= \frac{\Phi_3(B)\Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B)\Phi_2(B_0)}; & E &= \frac{\Phi_3(B_0)}{\Phi_2(B_0)}; & W &= \frac{\Phi_2(B)\Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B)\Phi_2(B_0)}; \\ Z &= \frac{2\Phi_2(B)\Phi_1(B_0)}{\Phi_1(B)\Phi_2^2(B_0)} [\Phi_4(B_0)\Phi_2(B_0) - \Phi_5(B_0)\Phi_3(B_0)]; \\ S &= \frac{\Phi_2^2(B)\Phi_1^2(B_0)\Phi_5(B_0) - \Phi_5(B)\Phi_1(B_0)\Phi_1(B)\Phi_2^2(B_0)}{\Phi_1^2(B)\Phi_2^2(B_0)}. \end{aligned}$$

Заметим, что при вычислении конкретных значений параметров  $\gamma_1$  и  $\gamma_3$  выбираются из соображений физической реализуемо-

сти оператора нормализации. Зная параметры  $\gamma_j$ , нетрудно определить параметры  $a_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ).

Оператор нормализации для преобразования (1) можно записать в виде

$$F = F_2 F_1 [B(x, y)] = F_2 F_1 [B_0(a_1 x^2 + a_2 y^2, a_3 x^2 + a_4 y^2)] = \\ = F_2 F_1 \left\{ B_0 \left[ A^{-1} A \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \end{pmatrix} \right] \right\} = F_2 [B_0(x^2, y^2)] = B_0(x, y), \quad (10)$$

где матрица  $A = \begin{pmatrix} a_1 a_2 \\ a_3 a_4 \end{pmatrix}$  — невырожденная.

Используя выкладки, рассмотренные выше, можно определить нормализаторы преобразования и для более сложного вида нелинейных искажений.

Пусть эталонное  $B_0(x, y)$  и произвольное изображение  $B(x, y)$  связаны соотношением

$$B(x, y) = B_0(a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3, a_4 x^2 + a_5 y^2 + a_6), \quad x, y \geq 0. \quad (11)$$

Как и ранее, неизвестные параметры  $a_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ) попытаемся определить с помощью функционалов (2).

Выполним замену переменных в выражении (11):  $a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3 = u$ ,  $a_4 x^2 + a_5 y^2 + a_6 = v$ , тогда

$$x = \sqrt{\gamma_1 u + \gamma_2 v + \gamma_3}; \quad y = \sqrt{\gamma_4 u + \gamma_5 v + \gamma_6}. \quad (12)$$

Якобиан преобразования (11), очевидно, равен

$$I(u, v) = \frac{\Delta}{\sqrt{\gamma_1 u + \gamma_2 v + \gamma_3} \sqrt{\gamma_4 u + \gamma_5 v + \gamma_6}}, \quad (13)$$

где  $\Delta = (\gamma_1 \gamma_5 - \gamma_3 \gamma_4)/4$ .

Исходное семейство преобразований — шестипараметрическое число независимых функционалов равно семи ( $n = 7$ ).

Выбираем следующий набор функций  $K_i(x, y)$  ( $i = 1, 2, \dots, 7$ ) для функционалов типа (2):

$$K_1(x, y) = xy; \quad K_2(x, y) = xy^3; \quad K_3(x, y) = x^3 y; \quad K_4(x, y) = xy^5;$$

$$K_5(x, y) = x^5 y; \quad K_6(x, y) = xy^9; \quad K_7(x, y) = x^9 y. \quad (14)$$

Тогда после замены переменных (12), (13) и с учетом (1) функционалы  $\Phi_i(B)$  преобразуются следующим образом:

$$\Phi_1(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) dudv;$$

$$\Phi_2(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_4 u + \gamma_5 v + \gamma_6) dudv;$$

$$\Phi_3(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) (\gamma_1 u + \gamma_2 v + \gamma_3) dudv; \quad (15)$$

$$\Phi_4(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) [\gamma_4^2 u^2 + \gamma_5^2 v^2 + 2(\gamma_4 \gamma_5 uv + \\ + \gamma_4 \gamma_6 u + \gamma_5 \gamma_6 v) + \gamma_6^2] dudv;$$

$$\Phi_5(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) [\gamma_1^2 u^2 + \gamma_2^2 v^2 + 2(\gamma_1 \gamma_2 uv + \gamma_1 \gamma_3 u + \gamma_2 \gamma_3 v) + \gamma_3^2] dudv;$$

$$\Phi_6(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) [\gamma_4^4 u^4 + \gamma_5^4 v^4 + 4(\gamma_4^3 \gamma_5 u^3 v + \gamma_4 \gamma_5^3 uv^3 + \gamma_4^3 \gamma_6 u^3 + \gamma_5^3 \gamma_6 v^3) + 6(\gamma_4^2 \gamma_5^2 u^2 v^2 + 2\gamma_4^2 \gamma_5 \gamma_6 u^2 v + 2\gamma_4 \gamma_5^2 \gamma_6 uv^2 + \gamma_4^2 \gamma_6^2 u^2 + \gamma_5^2 \gamma_6^2 v^2 + 2\gamma_4 \gamma_5 \gamma_6^2 uv) + 4(\gamma_4 \gamma_6^3 u + \gamma_5 \gamma_6^3 v) + \gamma_6^4] dudv;$$

$$\Phi_7(B) = \Delta \iint_D B_0(u, v) [\gamma_1^4 u^4 + \gamma_2^4 v^4 + 4(\gamma_1^3 \gamma_2 u^3 v + \gamma_1 \gamma_2^3 uv^3 + \gamma_1^3 \gamma_3 u^3 + \gamma_2^3 \gamma_3 v^3) + 6(\gamma_1^2 \gamma_2^2 u^2 v^2 + 2\gamma_1^2 \gamma_2 \gamma_3 u^2 v + 2\gamma_1 \gamma_2^2 \gamma_3 uv^2 + \gamma_1^2 \gamma_3^2 u^2 + \gamma_2^2 \gamma_3^2 v^2 + 2\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3^2 uv) + 4(\gamma_1 \gamma_3^3 u + \gamma_2 \gamma_3^3 v) + \gamma_3^4] dudv.$$

Для эталонных функционалов целесообразно взять такие ядра

$$K_k^0(x, y) \quad (k = 1, 2, \dots, m; \quad m = 15):$$

$$\begin{aligned} K_1^0(x, y) &= 1; & K_2^0(x, y) &= y; & K_3^0(x, y) &= x; \\ K_4^0(x, y) &= xy; & K_5^0(x, y) &= y^2; & K_6^0(x, y) &= x^2; \\ K_7^0(x, y) &= xy^2; & K_8^0(x, y) &= x^2 y; & K_9^0(x, y) &= x^2 y^2; \\ K_{10}^0(x, y) &= y^3; & K_{11}^0(x, y) &= x^3; & K_{12}^0(x, y) &= xy^3; \\ K_{13}^0(x, y) &= x^3 y; & K_{14}^0(x, y) &= y^4; & K_{15}^0(x, y) &= x^4. \end{aligned} \quad (16)$$

Связь между функционалами для эталонных  $B_0$  и входных  $B$  изображений определяется на основании формул (15), (16) уравнениями:

$$\begin{aligned} \Phi_1(B) &= \Delta \Phi_1(B_0); & \Phi_2(B) &= \Delta [\gamma_4 \Phi_3(B_0) + \gamma_5 \Phi_2(B_0) + \gamma_6 \Phi_1(B_0)]; \\ \Phi_3(B) &= \Delta [\gamma_1 \Phi_3(B_0) + \gamma_2 \Phi_2(B_0) + \gamma_3 \Phi_1(B_0)]; \\ \Phi_4(B) &= \Delta \{\gamma_4^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_5^2 \Phi_5(B_0) + 2[\gamma_4 \gamma_5 \Phi_4(B_0) + \gamma_4 \gamma_6 \Phi_3(B_0) + \gamma_5 \gamma_6 \Phi_2(B_0)] + \gamma_6^2 \Phi_1(B_0)\}; \\ \Phi_5(B) &= \Delta \{\gamma_1^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_2^2 \Phi_5(B_0) + 2[\gamma_1 \gamma_2 \Phi_4(B_0) + \gamma_1 \gamma_3 \Phi_3(B_0) + \gamma_2 \gamma_3 \Phi_2(B_0)] + \gamma_3^2 \Phi_1(B_0)\}; \\ \Phi_6(B) &= \Delta \{\gamma_4^4 \Phi_{15}(B_0) + \gamma_5^4 \Phi_{14}(B_0) + 4[\gamma_4^3 \gamma_5 \Phi_{13}(B_0) + \gamma_4 \gamma_5^3 \Phi_{12}(B_0) + \gamma_4^3 \gamma_6 \Phi_{11}(B_0) + \gamma_5^3 \gamma_6 \Phi_{10}(B_0)] + 6[\gamma_4^2 \gamma_5^2 \Phi_9(B_0) + 2\gamma_4^2 \gamma_5 \gamma_6 \Phi_8(B_0) + 2\gamma_4 \gamma_5^2 \gamma_6 \Phi_7(B_0) + \gamma_4^2 \gamma_6^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_5^2 \gamma_6^2 \Phi_5(B_0) + 2\gamma_4 \gamma_5 \gamma_6^2 \Phi_4(B_0)] + \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned}
& + 4 [\gamma_4 \gamma_6^3 \Phi_3(B_0) + \gamma_5 \gamma_6^3 \Phi_2(B_0)] + \gamma_6^4 \Phi_1(B_0) \}; \\
\Phi_7(B) = & \Delta \{ \gamma_1^4 \Phi_{15}(B_0) + \gamma_2^4 \Phi_{14}(B_0) + 4 [\gamma_1^3 \gamma_2 \Phi_{13}(B_0) + \\
& + \gamma_1 \gamma_2^3 \Phi_{12}(B_0) + \gamma_1^3 \gamma_3 \Phi_{11}(B_0) + \gamma_2^3 \gamma_3 \Phi_{10}(B_0)] + \\
& + 6 [\gamma_1^2 \gamma_2^2 \Phi_9(B_0) + 2 \gamma_1^2 \gamma_2 \gamma_3 \Phi_8(B_0) + 2 \gamma_1 \gamma_2^2 \gamma_3 \Phi_7(B_0) + \\
& + \gamma_1^2 \gamma_3^2 \Phi_6(B_0) + \gamma_2^2 \gamma_3^2 \Phi_5(B_0) + 2 \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3^2 \Phi_4(B_0)] + \\
& + 4 [\gamma_1 \gamma_3^3 \Phi_3(B_0) + \gamma_2 \gamma_3^3 \Phi_2(B_0)] + \gamma_3^4 \Phi_1(B_0) \}.
\end{aligned}$$

В этих соотношениях обозначения эталонных функционалов соответствуют обозначениям интегральных моментов с ядрами (16), например,

$$\Phi_k(B_0) = \Phi_{pq}(B_0) = \iint_D B_0(x, y) x^p y^q dx dy.$$

Решая систему уравнений (17), определяем коэффициенты  $\gamma_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ). Используя зависимости между  $\gamma_j$  и  $a_j$ , можно найти параметры  $a_j$  преобразования (11).

Тогда оператор нормализации преобразования (11) имеет вид:

$$\begin{aligned}
F = F_2 F_1 [B(x, y)] &= F_2 F_1 [B_0(a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3, \\
& a_4 x^2 + a_5 y^2 + a_6)] = F_2 F_1 \left\{ B_0 \left[ T \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \end{pmatrix} \right] \right\} = \\
&= F_2 \left\{ B_0 \left[ T^{-1} T \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \end{pmatrix} \right] \right\} = F_2 [B_0(x^2, y^2)] = B_0(x, y).
\end{aligned} \tag{18}$$

Здесь  $T$  — матрица аффинных преобразований с элементами  $a_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ).

**Список литературы:** 1. Пуятин Е. П., Долженкова Т. Г. Вопросы нормализации нелинейных преобразований. Сообщение I. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1980, вып. 24. См. статью в настоящем сб., с. 111—115. 2. Пуятин Е. П. Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение I. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1973, вып. 10, с. 82—89. 3. Пуятин Е. П., Третьин М. С. Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение II. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1974, вып. 12, с. 78—85. 4. Пуятин Е. П., Третьин М. С. Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение III. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1974, вып. 12, с. 85—94. 5. Нормализация изображений при аффинных преобразованиях / Е. П. Пуятин, В. П. Юрченко, В. Б. Левиков, В. А. Берман. — В кн.: Проблемы бионики. Харьков, 1972, вып. 8, с. 44—52.

Поступила 19 декабря 1978 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Шабанов-Кушнарченко Ю. П.</i> О конечных предикатах . . . . .  | 3   |
| <i>Зарипов Р. Х.</i> Моделирование мелодических вариаций на ЭВМ . . . .   | 8   |
| <i>Рось А. А., Судаков Б. Н.</i> Языковое обеспечение вопросно-ответных систем . . . . .  | 16  |
| <i>Шабанов-Кушнарченко Ю. П., Бондаренко М. Ф., Бондарев В. М., Шабанова-Кушнарченко З. Ю.</i> Математическое описание процесса склонения имен прилагательных . . . . . | 22  |
| <i>Дрюченко А. Я.</i> Об одном методе автоматического распознавания речи в реальном масштабе времени . . . . .  | 27  |
| <i>Потапов В. И., Нестерук В. Ф., Нестерук Г. Ф.</i> Новый подход к практической реализации нейроподобных элементов в интегральном исполнении . . . . .                 | 31  |
| <i>Потапов В. И., Нестерук Г. Ф., Нестерук В. Ф.</i> Организация доменных нейроподобных элементов с пресинаптическим взаимодействием .                                  | 35  |
| <i>Загускин С. Л., Гринченко С. Н.</i> Модель постсинаптических механизмов обучения . . . . .   | 40  |
| <i>Нефедов Ю. И.</i> Адаптивная фильтрация изображений . . . . .  | 50  |
| <i>Фролов Ф. В., Шнайдер М. Н.</i> Адаптивная логическая фильтрация в задачах распознавания изображений . . . . .   | 57  |
| <i>Ананин В. Ф.</i> Сетчатка глаза человека как биологическая система автоматического регулирования . . . . .   | 61  |
| <i>Колубай С. К.</i> О степени общности МК-программ. <i>Сообщение 1</i> . . . . .   | 70  |
| <i>Колубай С. К.</i> О степени общности МК-программ. <i>Сообщение 2</i> . . . . .   | 76  |
| <i>Мурашко А. Г., Четвериков Г. Г.</i> Извлечение квадратного корня средствами алгебры предикатов . . . . .   | 83  |
| <i>Любарский Ю. Я.</i> Диспетчерская вопросно-ответная система с виртуальной семантической сетью . . . . .  | 86  |
| <i>Ильинский А. П., Ильинская А. С., Короп А. В.</i> Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. <i>Сообщение 2</i> . .                       | 93  |
| <i>Санагурский Д. И., Гойда Е. А.</i> Описание биологических структур с позиций их организации . . . . .  | 100 |
| <i>Зозуля Ю. И.</i> Обобщенная гармоническая система . . . . .  | 105 |
| <i>Пуятин Е. П., Долженкова Т. Г.</i> Вопросы нормализации нелинейных преобразований. <i>Сообщение 1</i> . . . . .  | 111 |
| <i>Пуятин Е. П., Долженкова Т. Г.</i> Вопросы нормализации нелинейных преобразований. <i>Сообщение 2</i> . . . . .  | 116 |

## РЕФЕРАТЫ

УДК 62.506.2.

**О конечных предикатах.** Ш а б а н о в-К у ш н а р е н к о Ю. П.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 3—8.

Вводятся понятия конечного алфавитного оператора, конечного предиката и другие, им сопутствующие. На основании таких функциональных особенностей интеллекта, как конечность, детерминированность и дискретность заключаются в том, что конечный алфавитный оператор — адекватное средство описания интеллектуальной деятельности. В качестве языка описания предлагается алгебра конечных предикатов, способ применения которой поясняется примером. Табл. 2. Список лит. : 2 назв.

УДК 007 : 573.6

**Моделирование мелодических вариаций на ЭВМ.** З а р и п о в Р. Х.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 8—15.

Рассматривается метод моделирования на ЭВМ, основанный на программировании правил и закономерностей композиций, которые удалось выявить при изучении процесса человеческого творчества и сформулировать в виде процедур,— объективный (межличностный) способ подтверждения гипотез о закономерностях объекта исследования. Описывается одна из наиболее общих закономерностей творческой деятельности — перенос инвариантной структуры при варьировании ситуации. Механизм переноса иллюстрируется работой машинной программы, моделирующей мелодические вариации. Полученные результаты позволяют объяснить причины непригодности метода марковских цепей для моделирования музыкальных сочинений, распространенного в зарубежных экспериментах. Список лит. : 5 назв.

УДК 62.506.2

**Языковое обеспечение вопросно-ответных систем.** Р о с ь А. А., С у д а к о в Б. Н.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 16—22.

Рассмотрен один из путей возможной реализации взаимодействия между человеком-оператором и вопросно-ответной системой на основе ограниченного естественного языка. Предложен алгоритм вопросно-ответной системы, в которой используются явные определения. Ил. 4. Список лит. : 2 назв.

УДК 519.766.2

**Математическое описание процесса склонения имен прилагательных.** Ш а б а н о в-К у ш н а р е н к о Ю. П., Б о н д а р е н к о М. Ф., Б о н д а р е в В. М., Ш а б а н о в а-К у ш н а р е н к о З. Ю.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 22—27.

Средствами алгебры конечных предикатов математически описывается процесс склонения полных непряжательных русских имен прилагательных, рассматриваемый как одно из звеньев более общего процесса словоизменения. Вводится набор признаков, с помощью которого однозначно характеризуется влияние слова и контекста на результат формообразования. Список лит.: 3 назв.

УДК 519.76 : 681.3

**Об одном методе автоматического распознавания речи в реальном масштабе времени.** Д р ю ч е н к о А. Я.— Проблемы бионики, вып. 24.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 27—31.

Излагается принцип дискретизации речевого сигнала с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе. Обосновывается возможность его применения, в частности, для решения задачи автоматического распознавания речи в реальном масштабе времени на аппаратурном уровне. На фактическом материале экспериментов делается вывод о высокой надежности и экономичности метода. Ил. 2.

УДК 62.506.2

**Новый подход к практической реализации нейроподобных элементов в интегральном исполнении.** П о т а п о в В. И., Н е с т е р у к В. Ф., Н е с т е р у к Г. Ф.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 31—35.

Рассматриваются принципы построения нейроподобных элементов на базе цилиндрических магнитных доменов, обладающих повышенной функциональной надежностью узла порогового взвешивания вследствие малой чувствительности к параметрическим погрешностям. Ил. 4. Список лит.: 4 назв.

УДК 62.506.2

**Организация доменных нейроподобных элементов с пресинаптическим взаимодействием.** П о т а п о в В. И., Н е с т е р у к Г. Ф., Н е с т е р у к В. Ф.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 35—40.

Рассматриваются принципы построения нейроподобных элементов с пресинаптическим взаимодействием входных волокон на основании кристаллов, содержащих цилиндрические магнитные домены, высокая стабильность свойств и микронные размеры которых позволяют реализовать высоконадежные доменные схемы формальных нейронов в интегральном исполнении. Ил. 5. Список лит.: 3 назв.

УДК 612.014.3(519.85) : (62.506)

**Модель постсинаптических механизмов обучения.** З а г у с к и н С. Л., Г р и н ч е н к о С. Н.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 40—49.

Приводится анализ существующих подходов к моделированию нервной клетки и ее подсистем. Предлагается модель постсинаптической зоны нейрона, отражающая экспериментальные факторы о механизмах информационной функции и обучения одиночного нейрона. В модели, помимо электрического канала обработки информации, выделены энергетический и пластический каналы. Приводится описание модели в терминах систем автоматического управления. Машинные эксперименты продемонстрировали ее адекватность имеющимся биологическим фактам. Ил. 2. Список лит.: 9 назв.

УДК 577.4 : (57+62)

**Адаптивная фильтрация изображений.** Н е ф е д о в Ю. И.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 50—57.

Рассмотрена бионическая модель простого адаптивного фильтра изображений. Обсуждаются пути использования данной модели при решении задачи селекции точечного источника излучения. Показано, что применение адаптивных фильтров особенно целесообразно в системах, где обновление входной информации осуществляется через дискретные промежутки времени. Рассмотрена возможность использования адаптивного фильтра в следящей системе с многоэлементным фотоприемником. Ил. 5. Список лит. : 2 назв.

УДК 681.142.36

**Адаптивная логическая фильтрация в задачах распознавания изображений.** Фролов Ф. В., Шнайдер М. Н.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 57—61.

Рассматривается возможность применения адаптивной логической фильтрации для выделения элементарных признаков, с помощью которых можно аппроксимировать контурную линию изображения рукописного знака кусочно-линейными отрезками. Вводится адаптация параметров фильтра в зависимости от размеров распознаваемого изображения. Ил. 2. Список лит. : 4 назв.

УДК 62.506.2

**Сетчатка глаза человека как биологическая система автоматического регулирования.** Ананин В. Ф.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 61—70.

Регуляция динамического диапазона в сетчатке глаза человека осуществляется через изменение длины фоторецепторов и, в частности, величины зазора между отдельными дисками наружного сегмента и высоты клеток пигментного эпителия, а также соотношением числа контактируемых рецепторов с поверхностью клеток пигментного эпителия. Данная регуляция осуществляется через обратные связи, индуцируемые группой клеток ретикулярной системы. Ил. 2. Список лит. : 9 назв.

УДК 51:681.3.06

**О степени общности МК-программ. Сообщение 1.** Колубай С. К.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 70—76.

Вводится формальная модель организации вычислительного процесса испытуемым при решении задачи известным методом. Делается вывод о реализации испытуемым асинхронного вычислительного процесса. Строится формальная модель последовательной вычислительной машины, исследуются некоторые ее свойства. Список лит.: 8 назв.

УДК 51 : 681.3.06

**О степени общности МК-программ. Сообщение 2.** Колубай С. К.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 76—83.

Строится модель асинхронной машины — формальный эквивалент однопроцессорной параллельной вычислительной системы для МК-программ. Исследуются свойства асинхронной машины. Показано, что вычислительные процессы в асинхронной машине неоднозначно определяются начальным состоянием памяти. Список лит.: 3 назв.

УДК 62.506.2

**Извлечение квадратного корня средствами алгебры предикатов.** Мурашко А. Г., Четвериков Г. Г.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 83—86.

Рассматривается математическое описание процесса извлечения квадратного корня из многорядных кодов с помощью средств алгебры конечных предикатов. С помощью системы логических уравнений описывается информационный процесс, реализуемый естественным и искусственным интеллектом. Список лит.: 4 назв.

УДК 007:573.6

**Диспетчерская вопросно-ответная система с виртуальной семантической сетью.** Любарский Ю. Я.—Проблемы бионики, вып. 24.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 86—93.

С помощью активной семантической сети осуществляется представление знаний в ВОС (вопросно-ответной системе). Рассматриваются этапы анализа вопросов и вывода ответов. Реализован принцип виртуальной семантической сети, при котором в ОЗУ ЭВМ собирается сетевая структура, релевантная запросу. Ил. 1. Табл. 1. Список лит.: 12 назв.

УДК 62.506.2: 15:612.821.3:001.85

**Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека.** Сообщение 2. Ильинский А. П., Ильинская А. С., Короб А. В.—Проблемы бионики, вып. 24.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 93—100.

Рассматривается применение особого суггестивного состояния психики человека с целью более полного выявления и фиксации эвристик, свойственных решениям человека на дискурсивном и бессознательном уровне, а также для интенсификации обучения. Список лит.: 5 назв.

УДК 62—50:57

**Описание биологических структур с позиций их организации.** Санагурский Д. И., Гойда Е. А.—Проблемы бионики, вып. 24.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 100—105.

Описываются интегральные свойства сложной системы, а также вводятся условия разграничения их по составляющим. Вводится прием получения матрицы состояния сложной системы при совпадении максимумов корреляционных функций ( $\Delta\tau \rightarrow 0$ ) и при их дисперсии на довольно большом промежутке ( $\Delta\tau < < 0$ ). Ил. 5. Список лит.: 8 назв.

УДК 62.506.2

**Обобщенная гармоническая система.** Зозуля Ю. И.—Проблемы бионики, вып. 24.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 105—111.

На основе аппарата алгебры Кэли — Диксона строится математическая модель обобщенной гармонической системы, способной гармонически замыкаться во всех доступных ей средах. Ил. 1. Список лит.: 15 назв.

УДК 62.506.2

**Вопросы нормализации нелинейных преобразований.** Сообщение 1. Путьтин Е. П., Долженкова Т. Г.—Проблемы бионики, вып. 24.—Респ. межвед. науч.-техн. сборник.—Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 111—115.

Рассматриваются вопросы нормализации отдельных классов нелинейных преобразований. Предлагается метод нахождения параметров для одно- и двухпараметрических нелинейных искажений. Список лит.: 4 назв.

УДК 62.506.2

**Вопросы нормализации нелинейных преобразований.** *Сообщение 2.* П у т я г и н Е. П., Д о л ж е н к о в а Т. Г.— Проблемы бионики, вып. 24.— Респ. межвед. науч.-техн. сборник.— Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 116—120.

Рассматриваются вопросы нормализации нелинейных искажений типа квадратичных форм с четырьмя и шестью параметрами. Изложена последовательность нахождения параметров для этих классов нелинейных преобразований. Список лит.: 5 назв.