

007.57
1778

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

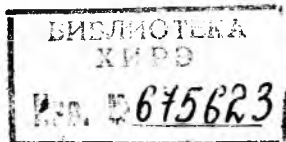
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМЕНИ М. К. ЯНГЕЛЯ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

ВЫПУСК 32

Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1968 г.



2111

ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1984

Проблемы бионики: Респ. междувед. науч.-техн. сб. — Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984.— Вып. 32. 145 с.

Сборник посвящен математическому и физическому моделированию различных сторон интеллектуальной деятельности человека, дальнейшему развитию применяемого математического аппарата. Описываются результаты изысканий процессов переработки текстовой информации, распознавания зрительных и звуковых образов, проблема обмена информацией с ЭВМ на естественном языке.

Рассматриваются вопросы кодирования биомедицинской информации, имитационного моделирования. Приведены схемные решения некоторых математических моделей, подходы для минимизации их аппаратных затрат.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1984 г.

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

Редакционная коллегия: Ю. П. Шабанов-Кушнаренко (отв. ред.), М. Ф. Бондаренко (зам. отв. ред.), Г. Г. Четвериков (отв. секр.), А. Ф. Осыка, Н. М. Амосов, А. А. Волков, В. А. Грабина, А. В. Дабагян, К. А. Иванов-Муромский, В. А. Ловицкий, Е. П. Путятин, И. Б. Сироджа, В. Я. Сердюченко, В. Г. Червов.

Адрес редакционной коллегии: 310218, Харьков-18, пр. Ленина, 14, Институт радиоэлектроники, тел. 40-93-66.

Редакция естественнонаучной литературы

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Выпуск 32

Редактор *З. Н. Шегельская*

Художественный редактор *Т. П. Воробийко*

Технический редактор *Л. Т. Ена*

Корректоры *В. Л. Светличная, Л. А. Марченко*

ИБ № 8342

Сдано в набор 14.10.83. Подп. в печать 27.08.84.
БЦ 08810. Формат 60×90₁₆. Бумага типогр. № 3.
Лит. гарн. Выс. печать. 9 печ. л. 9,25 кр.-отт. 10
уч.-изд. л. Тираж 700 экз. Изд. № 1167. Заказ 1590.
Цена 1 р. 40 к.

Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения «Вища школа»
310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

Харьковская городская типография № 16
310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

З. Ю. МАЛЕНЧЕНКО, Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, д-р техн. наук

О БИОНИЧЕСКИХ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЯХ

В радиотехнике широко используется метод частотно-импульсного кодирования функций времени. Согласно этому методу, положительной функции времени $f(t)$, заданной на интервале времени $0 \leq t \leq T$, ставится в соответствие последовательность $\varphi(t)$ стандартных импульсов. Импульс вырабатывается в тот момент, когда под участком кривой $f(t)$ накапливается площадь некоторой достаточно малой заранее заданной величины $\delta > 0$. Чем меньше выбрана площадь δ , тем точнее кодируется функция f . Эта площадь отсчитывается от момента времени t_{i-1} возникновения предыдущего импульса. Момент времени t_i , в который вырабатывается последующий импульс, определяется равенством

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} f(t) dt = \delta, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Полагаем $t_0 = 0$. Если значение δ достаточно мало, то уравнение (1) можно с требуемой точностью заменить уравнением $(t_i - t_{i-1})f(t_{i-1}) = \delta$ (2), откуда находим

$$t_i = t_{i-1} + \frac{\delta}{[f(t_{i-1})]}. \quad (3)$$

Таким образом, частота следования импульсов в последовательности $\varphi(t)$ прямо пропорциональна значению функции $f(t)$.

Можно предположить, что нервные клетки рецепторов человека преобразуют изменяющийся во времени непрерывный физический стимул $f(t)$ в его частотно-импульсный код $\varphi(t)$. В самом деле, клетка рецептора реагирует на физический стимул импульсным ответом (закон «все или ничего»), причем сигнал вырабатывается в момент накопления некоторого порогового значения импульса δ стимула в соответствии с формулой (1) (закон полной суммации). В связи с этим выглядит естественной следующая гипотеза: мозг человека обрабатывает информацию о физических процессах, воспринимаемых рецепторами,

посредством преобразования частотно-импульсных кодов этих процессов. Сформулированная гипотеза приводит к следующей бионической идее: мы предлагаем при электронном моделировании непрерывных физических процессов обрабатывать с помощью цифровых моделей не сами функции, соответствующие этим процессам, а лишь их частотно-импульсные коды. Быть может, эта идея позволит увеличить быстродействие цифровых моделей и снизить их массу и стоимость. Чтобы моделировать процессы, описываемые линейными дифференциальными и интегральными уравнениями, достаточно научиться складывать частотно-импульсные коды функций, интегрировать их и умножать на числовые коэффициенты. Ниже описывается способ реализации этих трех операций.

Будем считать, что каждая функция времени $F(t)$, фигурирующая в моделируемом процессе, при любом t из интервала $0 \leq t \leq T$ ограничена по абсолютному значению единицей: $-1 < F(t)$ (4). Такому ограничению всегда можно удовлетворить соответствующим выбором масштаба для моделируемого процесса. Поставим во взаимно однозначное соответствие каждой функции $F(t)$ некоторую функцию $f(t)$, определяемую формулой

$$f(t) = \frac{1}{2} F(t) + \frac{1}{2}. \quad (5)$$

Значения так выбранной функции $f(t)$ при любом t находятся в пределах $0 < f(t) < 1$ (6), а нулевому значению функции $F(t)$ теперь соответствует значение $\frac{1}{2}$ функции $f(t)$. Обратный переход от функции f к функции F может быть совершен по формуле $F(t) = 2f(t) - 1$ (7).

Преобразование (5) дает возможность избавиться от отрицательных (точнее — от неположительных) значений моделируемой функции. Для функции f можно сформировать частотно-импульсный код в соответствии с формулами (1)–(3). Функция же F для этой цели непригодна. Таким образом, моделируемая функция F заменяется ее непрерывным портретом f , который, в свою очередь, преобразуется в дискретный портрет φ . Дискретный портрет φ функции F обрабатывается цифровой моделью. Полученный результат затем переводится в аналоговый портрет f моделируемой функции F . Для этого достаточно пропустить соответствующий дискретный портрет φ через высокочастотный фильтр. Переход от функции f к функции F производится в соответствии с формулой (7).

Потребуем, чтобы функции $f(t) \equiv 1$ соответствовал частотно-импульсный код $1(t) = 1111\dots$, представляющий собой серию импульсов тактовой частоты. В этом случае временной интервал между соседними моментами дискретного времени, равный тактовому периоду, должен быть равен значению δ . Полагаем,

что дискретное время принимает натуральные значения $t=1, 2, 3, \dots$. Функции $f(t)=1/2$ соответствует дискретный портрет

$$\frac{1}{2}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t \text{ — нечетно,} \\ 1, & \text{если } t \text{ — четно.} \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, код $1/2(t)$ представляет собой последовательность чередующихся нулей и единиц $1/2(t)=0101\dots$

Рассмотрим случай, когда требуется сложить две функции $F_1(t)$, $F_2(t)$ и получить их сумму $F(t)=F_1(t)+F_2(t)$. Это возможно лишь в том случае, когда при любом t из интервала $0 \leq t \leq T$ $-1 < F_1(t) + F_2(t) < 1$ (9). Пусть функциям $F_1(t)$, $F_2(t)$, $F(t)$ соответствуют их дискретные портреты $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi(t)$. Нетрудно показать, что код $\varphi(t)$ можно выразить с достаточной точностью через коды $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ с помощью следующего преобразования:

$$p(t) = \varphi_1(t) \varphi_2(t); \quad q(t) = \frac{1}{2}(t); \quad \varphi_1(t); \quad r(t) = \frac{1}{2}(t) \varphi_2(t);$$

$$v(t) = p(t) \vee q(t) \vee r(t); \quad \varphi(t) = \frac{1}{2}(t) p(t) \vee v(t) w(t-1);$$

$$w(0) = 0; \quad w(t) = v(t) \vee (\varphi_1(t) \vee \varphi_2(t) \vee \frac{1}{2}(t)) w(t-1). \quad (10)$$

Операцию, представленную формулами (10), запишем в виде $\varphi(t) = \varphi_1(t) + \varphi_2(t)$ (11) и назовем сложением кодов $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, код $\varphi(t)$ — суммой кодов $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$.

Рассмотрим случай, когда требуется функцию $F_1(t)$ умножить на -1 . Результат этой операции обозначим в виде функции $F_2(t)$: $F_2(t) = -F_1(t)$. Пусть функции $F_1(t)$ соответствует дискретный портрет $\varphi_1(t)$, а функции $F_2(t)$ — портрет $\varphi_2(t)$. Тогда $\varphi_2(t) = \varphi_1(t)$ (12). Операцию, представленную формулой (12), запишем в виде $\varphi_2(t) = -\varphi_1(t)$ (13) и назовем умножением кода $\varphi_1(t)$ на число -1 .

Рассмотрим случай, когда требуется функцию $F_1(t)$ умножить на число $\alpha(t)$, заключенное в пределах $0 < \alpha(t) < 1$ (14) при любом t из интервала $0 \leq t \leq T$. В результате этого умножения получаем функцию $F_2(t) = \alpha(t) F_1(t)$. По-прежнему считаем, что функции $F_1(t)$ соответствует код $\varphi_1(t)$, а функции $F_2(t)$ — код $\varphi_2(t)$. Можем записать

$$\varphi_2(t) = \alpha(t) \times \varphi_1(t) + \frac{1}{2}(1 - \alpha(t)) \times 1(t). \quad (15)$$

В формуле (15) фигурирует операция $\alpha \times \varphi$, первым аргументом которой служит число α , заключенное в пределах $0 < \alpha < 1$, вторым — код φ . Операцию \times задаем следующими формулами:

$$\alpha(t) \times \varphi(t) = [\beta(t-1) + \gamma(t)]; \quad \beta(0) = 0; \quad \beta(t) = \{\beta(t-1) + \gamma(t)\};$$

$$\gamma(t) = \begin{cases} \alpha(t), & \text{если } \varphi(t) = 1; \\ 0, & \text{если } \varphi(t) = 0. \end{cases} \quad (16)$$

В формулах (16) квадратными скобками обозначена целая часть числа, фигурными — дробная часть числа. Операцию, представленную формулами (15), (16), запишем в виде $\varphi_2(t) = \alpha(t)\varphi_1(t)$ (17) и назовем умножением кода $\varphi_1(t)$ на число $\alpha(t)$. Код $\varphi_2(t)$ назовем произведением кода $\varphi_1(t)$ на число $\alpha(t)$.

Наконец, рассмотрим случай, когда требуется функцию $F_1(t)$ проинтегрировать по времени t . В результате интегрирования получаем функцию

$$F_2(t) = \lambda \int_0^t F_1(t) dt. \quad (18)$$

Интегрирование считаем возможным только в том случае, если в формуле (18) значение функции $F(t)$ заключено в пределах $-1 < F_2(t) < 1$ (19) при любом t из интервала $0 \leq t \leq T$. Последнее условие всегда можно выполнить при соответствующем выборе масштаба $\lambda > 0$. Пусть функции соответствует дискретный портрет $\varphi_1(t)$, а функции $F_2(t)$ — портрет $\varphi_2(t)$. Можем записать

$$\varphi_2(t) = \alpha(t) \times 1(t); \quad \alpha(0) = \frac{1}{2};$$

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha(t-1) + \mu, & \text{если } \varphi(t) = 1, \\ \alpha(t-1) - \mu, & \text{если } \varphi(t) = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Символом μ обозначено некоторое положительное число, во много раз меньшее единицы. Значение μ выбирают с таким расчетом, чтобы выполнилось условие (14). Его выбор определяет масштаб λ .

Поступила в редколлегию 20.12.82.

УДК 510.62

М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, О. В. ЛАЗАРЕНКО

О ФОРМИРОВАНИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕФИКСАЛЬНОГО СЛОВООБРАЗОВАНИЯ

Для построения математической модели любой области языка необходима система правил, описывающая все языковые явления в этой области. Приведенные в грамматиках правила, описывающие интересующие нас словообразовательные процессы, непригодны для этих целей из-за неформализованности и отсутствия в их основе четких категорий, подобных словоизменительным — род, число, падеж, вид и другие. Поэтому, прежде

чем приступить к моделированию словообразования, необходимо разработать систему словообразовательных категорий (признаков).

Отличительная черта словообразования состоит в том, что все процессы формирования производных слов основаны на семантике словообразовательных аффиксов и производящих основ. Граматики при описании словообразовательных процессов ограничиваются перечнем значений приставок, а классы производящих основ представлены лишь отдельными словами в виде примеров. Законы, по которым происходит присоединение аффиксов к тем или иным основам (побежал, но запел), в грамматиках не описаны. Имеющиеся работы не дают полной картины, поскольку рассматривают лишь ограниченные классы приставок.

Наряду с этой глобальной в рамках словообразования задачей не решена и более мелкая, но не менее важная задача выделения смысловых оттенков аффиксов.

Приведенные в грамматиках значения словообразовательных аффиксов часто укрупнены, представляют собой совокупность нескольких элементарных смыслов, которые вычлняются при сравнении со значениями других приставок. Так, в значении приставки *вз-* *интенсивное начало* (взвыть) при сравнении с приставкой *за-* в значении *начало* (завыть) вычлняется два оттенка — *интенсивность* и *начало*; в значении приставки *пред-* *непосредственное предшествование* (предвоенный) при сравнении с приставкой *до-* в значении *предшествование* (довоенный) также выделяется два оттенка — *предшествование* и оттенок временной близости *непосредственно до чего-либо*. Сравнение приставок со значением *подобие* в словах типа под котик, привкус, последействие, отзвук позволило выделить в них следующие оттенки: под котик — *подобие* и *ложность*, привкус — *подобие* и *сопутствие*, последействие — *подобие* и *следование*, отзвук — *подобие*, *следование* и *небольшая степень*.

Кроме того, в некоторых значениях упущены смысловые оттенки, не выделяемые в отдельно взятом слове, но выделяемые при сравнении с логически противопоставленным префиксом. Так, в словах типа Прикарпатье традиционно выделяется значение *расположение рядом*, а в словах типа Закарпатье *расположение за чем-либо*. Совершенно очевидна вместе с тем логическая противопоставленность слов Прикарпатье и Закарпатье. Поэтому целесообразно выделить такие пары оттенков: Закарпатье — *рядом* и *за чем-либо*, Прикарпатье — *рядом* и *перед чем-либо*.

В свою очередь, оба эти слова противостоят словам типа Предкарпатье в значении *расположение в непосредственной близости* безотносительно к тому, за или перед объектом. В результате получаем следующую пару оттенков: Предкарпатье — *рядом* и *непосредственно*.

В результате такого анализа все значения приставок были расчленены на элементарные смыслы. В табл. 1, 2 приведены оттенки именных приставок, полученные путем последовательного сравнения значений приставок и вычленения в них неделимых смысловых компонентов. Анализ полученных оттенков позволил объединить их в группы логически противопоставленных или несовместимых смыслов — в признаки.

При объединении оттенков в признаки выполнялись следующие требования.

1. Оттенки, относящиеся к одной и той же приставке в данном слове, не должны входить в один признак.

Полученные признаки должны удовлетворять закону истинности (а) и закону ложности (б), т. е. а) каждый признак должен иметь вполне определенную область определения; б) все значения признака оттенки должны друг друга взаимно исключать (быть попарно различимыми).

В соответствии с этими требованиями была получена система семантических признаков для префиксального словообразования. В частности, на множестве именных префиксов выделены следующие семантические признаки: *характер взаимодействия* со значениями *совместное действие* (соавтор, подголосок), *противодействие* (противомалырийный); *характер соотношенности* со значениями *подобие* (под котик, отзвук, привкус, последствие), *противоположность* (невнимательность); *взаимозависимость* со значениями *подчиненность* (подведомственный), *неподчиненность* (надпартийный); *распределенность в пространстве* со значениями *рассредоточенность* (подорожник), *сосредоточенность* (созвездие); *расположение в вертикальной плоскости* со значениями *над* (надбровный), *под* (подводный), *на* (нарукавник); *расположение в горизонтальной плоскости* со значениями *перед* (предбанник, Прикарпатье), *за* (заозерный, Закарпатье); *расположение в пространстве* со значениями *внутри* (внутриутробный), *вне* (внеземной), *между* (междурядье); *временная последовательность* со значениями *предшествование* (предвоенный, довоенный, позапрошлый, праязык, предосторожность), *сопутствие* (привкус), *следование* (пореформенный, послевоенный); *степенная характеристика* со значениями *превышение нормы* (сверхгигант), *предельная степень* (премудрый, разудалый, невыгоднейший), *умеренная степень* (подальше, отзвук); *степень временной близости* со значениями *непосредственно* (предвоенный), *заранее* (предубеждение); *степень пространственной близости* со значениями *рядом* (Прикарпатье, Закарпатье, Подмосковье, Предуралье), *далеко*; *вид родства* со значениями *кровное* (правнук), *некровное* (пасынок); *временное различие* со значениями *молодой* (подсвинок), *древний* (праязык); *взаимовключение* со значениями *вхождение* (подгруппа), *содержание* (надсемейство, сукровица).

Таблица 1

Префикс	Оттенок	Оттенок	Производное слово
под-	подчиненность		подведомственный
		совместность	подголосок
	вхождение		подгруппа
	подобие	ложность	под котик
		молодой	подсвинок
	рядом		Подмосковье
	под		подсвечник
пред-	перед		предбанник
	рядом	безотносительно	Предуралье
	предшествование	непосредственно	предвоенный
		заранее	предосторожность
по-	следование	непродуктивный*	пореформенный
	незначительная степень		потемнее
	рассредоточенность	вдоль	побережье
		попредметно	подворный
до-	предшествование		довоенный
со-	совместность		соавтор
	сосредоточенность		созвездие
не-	противоположность		невнимательный
		достаточная степень	неглупый
без	отсутствие		бездомный

* Отмечены несемантические оттенки, необходимые для однозначного описания суффиксов.

Префикс	Оттенок	Оттенок	Производное слово
за	за (по ту сторону)		заозерный
		рядом	Закарпатье
на-	на (поверхности)		набедренный
над-	над		надбровный
	содержание		надсемейство
около	вокруг	рядом	околоземный
противо-	противодействие		противоболевой
поза-	предшествование	на одну единицу времени	позавчера
су-	содержание		суглинок
после-	следование	продуктивность*	послевоенный
		подобие	последствие
при-	сопутствие	подобие	призвук
		рядом	Прикарпатье
		безотносительно	приусадебный
сверх-	превышение нормы		сверхгигант
	дополнительно		сверхкомплект
пре-	высшая степень	разговорная речь*	премудрый
раз-	высшая степень	народно-поэтическая речь*	разудалый
наи-	высшая степень	прилагательные* превосходной степени	наивыгоднейший

Префикс	Оттенок	Оттенок	Производное слово
внутри	внутри	пространственное	внутриатомный
		временное	внутриквартальный
вне-	вне	пространственное	внекислотный
		временное	вневременный

Таблица 2

Префикс	Оттенок	Оттенок	Оттенок	Производное слово
пра-	кровное родство	на одно поколение	следование	правнук
			предшествование	прабабушка
	предшествование	древний		празык
от-	подобие	следование	незначительная степень	отблеск
	образованный от того, что названо мотивирующим словом			отглагольный
меж-	между	пространственное	продуктивный*	межатомный
		временное	продуктивный*	межсезонье
между-	между	пространственное	непродуктивный*	междусуставной

* Отмечены носемантические оттенки, необходимые для однозначного описания префикса.

Однако для адекватного описания приставок этих признаков часто не достаточно. Возникает необходимость введения семантических классов основ (например, для начинательных приставок — пошел, заговорил). Для этого требуется классификация основ, с которыми соединяются приставки в разных своих значениях (например, набросит, накупить, напеть). Разработка такой системы признаков позволит производить анализ и синтез префиксальной словоформы и однозначно выходить на искомый префикс.

Список литературы: 1. *Русская грамматика*. — М.: Наука, 1980. — Т. 1. 784 с. 2. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* О математическом описании естественного языка. — Пробл. бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13. 3. *Бондаренко М. Ф., Лазаренко О. В.* Об одном подходе к математическому описанию приставочного словообразования. — АСУ и приборы автоматики, 1981, вып. 58, с. 11—12.

Поступила в редколлегию 07.12.82.

УДК 510.62

М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, *В. И. РУБЛИНЕЦКИЙ*

СЛОВО В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЛИНГВИСТИКЕ

В последнее время разрабатываются системы, цель которых обеспечить общение человека с вычислительной машиной на естественном языке. Этот круг вопросов постепенно оформляется в самостоятельную научную дисциплину, и ее все чаще называют вычислительной лингвистикой (см., например, [1]). В вычислительной лингвистике заново ставятся многие вопросы лингвистики традиционной. Обычно эти вопросы ставятся в упрощенной форме, но по необходимости требуют точного и конструктивного ответа. В частности, вычислительная лингвистика нуждается в определении слова, ибо системы вычислительной лингвистики (ниже для краткости ВЛ-системы) на основании этого определения выделяют слово из текста.

Нами дано определение слова для ВЛ-систем, работающих с письменной формой русского языка, и на основании этого определения предложен алгоритм выделения слова из текста.

Традиционная лингвистика общепринятого определения слова выработать не смогла. В. А. Звегинцев [2, с. 51] так характеризует ситуацию: «Пожалуй, самая сомнительная и капризная репутация у слова, несмотря на то, что некоторые лингвисты готовы объявить его основной единицей языка. Слово, как говорит Э. Сепир, неизменно присутствует в сознании, и, следовательно, обладает бесспорной психологической реальностью, что свидетельствуется и тем (здесь мы опять обращаемся к Э. Сепиру), что и совершенно неграмотный человек не испытывает никакого затруднения при расчленения речи на слова. Но как

только доходит до определения слова, оно становится неуловимым, как синяя птица».

Исследователи, придерживающиеся машинной, формальной ориентации, например Р. Г. Пиотровский [3], предложили определение слова письменной формы языка в следующем виде: слово — набор букв алфавита, ограниченный с обеих сторон проблемами.

Такое определение не верно. С одной стороны, оно пропускает бессмысленные наборы букв, как *ПВГДРК*, за которым и «совершенно неграмотный человек» не признает статуса слова, а с другой — не пропускает такого бесспорного слова, как *по-прежнему* (кстати, недавно писавшегося вместе), потому что в его состав входит дефис. Определение страдает еще одним пороком: если слова уже выделены и окружены пробелами, то выделение проделано на основании другого определения (какого?), а если слова входят в текст, то там они, помимо пробелов, могут отделяться знаками препинания — слева (например, открывающей скобкой), справа (например, запятой), слева и справа (например, кавычками). Однако рациональное зерно в обсуждаемом определении есть: в нем приведены (хотя и не все) необходимые условия того, чтобы строка символов (это строгий термин, определяемый в синтаксисе алгоритмических языков) была словом, как его интуитивно понимают. Мы дополним необходимые условия, а потом сформулируем достаточные.

О п р е д е л е н и е 1. Строка символов называется *словоподобной*, если и только если она имеет вид $\sigma a_1 a_2 \dots a_n \sigma$, где σ — знак препинания или пробел, а $a_i, i=1, \dots, n$, принадлежит множеству, объединяющему алфавит и дефис.

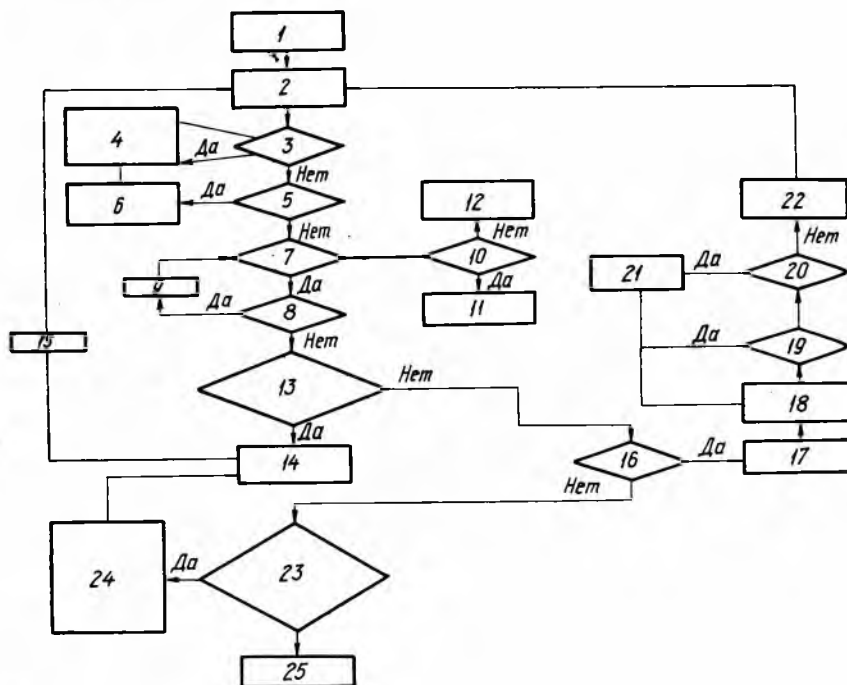
Замечание. Поскольку мы рассматриваем ВЛ-системы, работающие с русским языком, алфавит состоит из всех русских букв. В зависимости от текстов алфавит можно расширять, например, цифрами.

Словоподобная строка символов (ниже для краткости ССС) еще не есть слово, как мы его понимаем интуитивно, ибо, с одной стороны, под определение подпадают по-прежнему бессмысленные строки, как *ПВГДРК*, а с другой стороны, из-за включения дефиса в алфавит, под определение попали словосочетания, такие как осетин-извозчик. Будем называть ССС, которая не является словом в интуитивном смысле, псевдословом. Чтобы сформулировать достаточные условия, обсудим, как отличается слово от псевдослова человек.

Реакцию человека на слово/псевдослово, по-видимому, можно разделить на следующие классы. 1. Слово просто вспоминается. Так, типичный носитель русского языка помнит слово *стол*. Видимо, слово *столами* также не прогоняется по морфологической парадигме, а вспоминается непосредственно. 2. Слово отсутствует в памяти: носитель языка его никогда не слышал и не употреблял. Пожалуй, неологизмы Маяковского «Земля...

заерзает *мясами*» или «В тупой полицейской *слоновости*» являются действительно новыми словами для каждого, кто встретил их первый раз. Но человек владеет словоизменительными и словообразовательными алгоритмами, которые позволяют свести новые слова к известным. 3. Слово неизвестно носителю языка и не приводится к известным через словоизменительные и словообразовательные алгоритмы, однако смысл слова опознается по ситуации. Пример: Балаганов не понял, что означает «статус-кво». Но он ориентировался на интонацию, с которой эти слова были произнесены. 4. ССС неизвестна носителю языка, не преобразуема к известному слову и не угадывается. В этом случае человек не может отличить слово от псевдослова.

То, что является правдоподобной догадкой относительно психологической деятельности человека, в несколько рекомбинированной форме служит твердым фактом в ВЛ-системах, именно, ССС можно классифицировать следующим образом. 1) ССС хранится в словнике системы; 2) ССС не хранится в словнике системы, но сводится к хранимой в словнике ССС алгоритмами морфологического анализа. В настоящее время имеется несколько таких систем; 3) ССС не хранится в словнике системы, но сводится к хранимой в словнике ССС алгоритмами словообразовательного анализа. Системы такого рода находятся в стадии разработки (см., например, 4, 5); 4) ССС не хранится



в словнике системы и не сводится к элементам словника морфологическими и словообразовательными алгоритмами.

О п р е д е л е н и е 2. Слово в ВЛ-системе — это ССС, указанная в п. 1—3 последнего перечня. ССС, указанная в п. 4, называется псевдословом в ВЛ-системе.

В ВЛ-системах предусматривается останов, когда встречается псевдослово. Если псевдослово — результат ошибки, то она исправляется. Если ССС — слово в интуитивном смысле, ранее не включенное в словник (например, ПВГДРК тоже может быть словом — это имя персонажа в рассказе Лема, и оно, в принципе, может быть аббревиатурой), то его включают в словарь системы, и оно становится словом в ВЛ-системе.

Алгоритм выделения слова из предложения приведен ниже (рисунок).

- | | |
|--|--|
| 1. $k = 1$, $\text{def} = 0$: | 15. $k = k + 1$ |
| 2. $w = \text{—}$, $i = 1$ | 16. $\text{def} > 0$ |
| 3. $t_k \in A$ | 17. $j = i$ |
| 4. $w_i = t_k$, $i = i + 1$, $k = k + 1$ | 18. $j = j - 1$, $k = k - 1$ |
| 5. $t_k = \text{дефис}$ | 19. $w_j \in A$ |
| 6. $\text{def} = \text{def} + 1$ | 20. $w_j = \text{дефис}$ |
| 7. $t_k = \sigma$ | 21. $w_j = \text{—}$ |
| 8. $t_{k+1} = \sigma$ | 22. $k = k + 1$, $\text{def} = 0$ |
| 9. $k = k + 1$ | 23. $t_{k-2} = 78$ $t_{k-1} = \cdot 8$ $t_k = \text{—} 8$ $t_{k+1} =$
$= \Delta \vee \Pi \vee \text{I} 8$ $t_{k+2} = \cdot$ |
| 10. $t_k = \text{end } t$ | 24. $w_2 = \text{точка}$, $w_3 = \text{—}$, $w_4 = t_{k+1}$,
$w_5 = \text{точка}$, $k = k + 3$ |
| 11. Stop | 25. Stop 2 |
| 12. Stop 1 | |
| 13. $w \Rightarrow \text{словник}$ | |
| 14. обработка w | |

Обозначения. $A = \{A|a|Б|б|...|Я|я\}$ (русский алфавит), $3\Pi = \{.,|...|,,|''|«|»|!|?|:|;|(|-|)|/|\}$ (знаки препинания без дефиса), $t = t_1 t_2 t_3 \dots \text{end } t$ ($\text{end } t$ — метка конца текста), $\sigma = 3\Pi \cup \text{—}$, def — число дефисов в тексте, $\text{def} \geq 0$, w — n -местный массив, где помещается слово.

Объяснение блоков. 1°. $k=1$ означает, что обработка начинается с первой буквы текста, $\text{def}=0$ означает, что пока не встречено дефиса.

2°. Массив w размера n очищается пробелами. В качестве w можно выбрать длину максимального слова в словнике. 3—4°. Если попадают буквы, то они заносятся в w . 5—6°. Если попадает дефис, то он заносится в w , а в 6° ведется счет дефисов. 7—9°. Слово окончилось; просматривается любое нагромождение символов, пока в t_{k+1} не появится первая буква. 10—12°. При достижении конца файла, содержащего текст в 11°, происходит нормальный останов, останов Stop 1 происходит при наличии непредусмотренного символа в тексте. 13—15°. Блок

13° — сложный. Здесь проверяется, имеется ли *w* в словнике или сводится ли *w* к элементам словника с помощью словообразовательных и словоизменительных алгоритмов. Если да, то *w* обрабатывается в 14°, и в 15° переход на дальнейший просмотр текста. 16°. Проверка, есть ли в *w* дефис. 17—22°. Массив *w* проходится от конца к началу, причем дефисы заменяются пробелами. 23—24°. Обрабатываются исключения — слова, содержащие пробел. Это аббревиатуры *т. е.*, *т. д.*, *т. п.* 25°. Встретилось псевдослово. Печать запроса и останов.

Список литературы: 1. Шенк Р. Обработка концептуальной информации. — М.: Энергия, 1980. — 361 с. 2. Звегинцев В. А. Предложение и его отношение к языку и речи. — М.: Изд-во Моск. ун-та. — 307 с. 3. Пиотровский Р. Г. Текст, машина, человек. — Л.: Наука, 1975. — 326 с. 4. Бондаренко М. Ф., Шаронова Н. В. Моделирование фрагментированных суффиксов имен существительных. — Депон. рукопись, ВИНТИ, 1981, № 964. 5. Бондаренко М. Ф., Лазаренко О. В. Математическое описание фонетических явлений приставочного словообразования. — АСУ и приборы автоматики, 1981, вып. 58, с. 97—100.

Поступила в редколлегию 25.11.82.

УДК 510.62

С. И. МАЛЕНЧЕНКО

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ СМЫСЛА ТЕКСТА

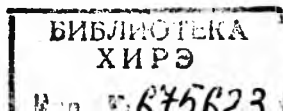
Эта статья продолжает исследования, начатые в работе [1], в которой развит общий подход к математическому описанию смысла текста и отношения между текстом и смыслом. Текстом будем называть любую строчку знаков, заключающую в себе какой-нибудь смысл. В роли текста может выступать книга, предложение, слово или даже отдельная буква. Существуют тексты, имеющие несколько различных смыслов. Например, слово *коса* может означать и заплетенные волосы, и песчаную отмель, и орудие труда, и краткую форму имени прилагательного *косой*; буква *a* может означать и союз, и префикс (алогичный), и суффикс (*летаю*), и окончание (*весна*). Нужный смысл текста можно указать с помощью контекста. Контекстом текста *A* будем называть такой текст, в который входит текст *A*, и по которому можно однозначно определить смысл текста *A*. Например, предложение *коса — это заплетенные волосы* может служить контекстом для слова *коса*, слово *весна* может служить контекстом для буквы *a*. Заметим, что существуют различные контексты, задающие один и тот же смысл текста. Контексты некоторого текста, задающие один и тот же смысл этого текста, назовем тождественными контекстами. Например, тождественными для слова *коса* являются контексты *девичья коса*, *пышная коса*.

Пусть M — произвольно выбранное множество текстов, N — некоторое множество попарно нетождественных контекстов для этих текстов. Контексты множества N задают для каждого текста множества M некоторую совокупность смыслов, не обязательно всех возможных. Рассмотрим пример. Задано множество текстов $M = \{-, a, e, y, ы, ам, ами, ах, ой\}$. Знак — обозначает пустой текст — текст, не имеющий ни одной буквы. Для текстов множества M задано множество контекстов $N = \{\text{лампа, без лампы, к лампе, лампу лампы, о лампе, лампы горят, ламп—, лампам, в лампы, лампами, лампах}\}$. Нижней чертой отмечено место вхождения текста в контекст. Заданные контексты показывают, что тексты множества M выступают в роли окончаний имен существительных женского рода. Текст $ы$ имеет три смысловых роли, текст e — две, остальные тексты — по одной.

Элементы множества N взаимно однозначно связаны со смыслами текстов множества M . Этот факт дает нам право принять эти элементы в качестве формального эквивалента смыслов текстов множества M . Таким образом, N есть множество смыслов текстов, входящих в состав множества M . Выбор множеств M и N в значительной степени произволен. По существу он задает конкретный объект исследования. По-разному выбирая множества текстов и их смыслов, мы будем приходить к различным задачам. Так, выбирая в качестве M какое-нибудь множество окончаний, а в качестве N — множество словоформ, задающих грамматические роли этих окончаний, приходим к задаче из области словоизменения. Если же взять в качестве M какое-либо множество суффиксов, а в качестве N — множество слов, задающих смысловые роли этих суффиксов, то мы приходим к задаче из области словообразования. Если M — множество слов, а N — множество словосочетаний, задающих смысловые роли этих слов, то мы имеем задачу из области лексикологии.

Введем на множестве $N \times N$ предикат $E(x, y)$, определяя его следующим образом: $E(x, y) = 1$, если x и y являются смыслами одного и того же текста, $E(x, y) = 0$, если тексты смыслов x и y различны. Например, $E(\text{без лампы, в лампы}) = 1$, $E(\text{лампа, лампу}) = 0$. Здесь в качестве N принято множество, фигурировавшее в приведенном выше примере. Предикат E назовем текстовым предикатом. Мы постулируем рефлексивность $\forall x(x \in N \supset E(x, x)) = 1$ (1), симметричность $\forall x \forall y(x, y \in N \supset E(x, y) \supset E(y, x)) = 1$ (2) и транзитивность $\forall x \forall y \forall z(x, y, z \in N \supset (E(x, y) \wedge E(y, z) \supset E(x, z))) = 1$ (3) текстового предиката E . Условия (1) — (3) и все другие зависимости в этой статье записаны на языке конечной алгебры [2]. Фактическое выполнение всех трех свойств очевидно.

Из условий (1) — (3) следует, что текстовый предикат есть эквивалентность. Это означает, что он порождает некоторое разбиение R множества N на классы эквивалентности. В нашем



примере получаем следующее разбиение: $R = \{\{лампа\}, \{\text{без лампы, лампы горят, в лампы}\}, \{\text{к лампе, о лампе}\}, \{лампу\}, \{\text{лампой}\}, \{\text{ламп}\}, \{\text{лампам}\}, \{\text{лампами}\}, \{\text{лампах}\}\}$. В один класс попадают смыслы одинаковых текстов. По предикату E можно отыскать все классы разбиения R . Практически это удобно сделать следующим образом. Берем какой-нибудь смысл $y_1 \in N$ и полагаем $E(x, y_1) = 1$. Множество S_{y_1} всех решений этого уравнения относительно переменной x есть класс эквивалентности, содержащий смысл y_1 . Далее, образуем множество $N_1 = N \setminus S_{y_1}$ и берем из него какой-нибудь смысл y_2 . Тем же способом отыскиваем для него класс S_{y_2} . Процесс повторяем до тех пор, пока не исчерпаются все элементы множества N . Система всех найденных таким способом классов и есть разбиение R .

Разбиение R множества N , порождаемое эквивалентностью E , можно определить также аналитическим путем, пользуясь формулой

$$R(X(x)) = \exists y (y \in N \wedge X(x) \equiv E(x, y)). \quad (4)$$

Классы эквивалентности разбиения R взаимно однозначно связаны с текстами множества M . Это обстоятельство дает нам право принять элементы множества R в качестве формального эквивалента текстов. Таким образом, понятие текста нам удалось выразить через понятие смысла. В связи с этим отпадает надобность в множестве M , и мы его в дальнейшем использовать не будем. В роли универсума для дальнейших построений используем только множество N . Теперь формальным эквивалентом множества текстов будет служить нам множество R . Отныне класс $S_x \in R$ будем интерпретировать как текст, соответствующий смыслу x . Например, класс $\{\text{к лампе, о лампе}\}$ будем понимать как окончание e , класс $\{\text{лампа}\}$ — как окончание a и т. д. Мы видим, что с математической точки зрения понятие смысла является первичным, а понятие текста — вторичным. Это вытекает из того факта, что каждый текст есть некоторое множество смыслов, а не наоборот.

Рассмотрим функцию $F: N \rightarrow R$, которая ставит в соответствие смыслу x текст S_x . В нашем примере имеем: $F(\text{лампа}) = a$, $F(\text{без лампы}) = \text{ы}$, $F(\text{лампой}) = \text{ой}$ и т. д. Функцию F назовем текстовой функцией. Равенство $X = F(x)$, где буквой X обозначен текст смысла x , будем формально записывать с помощью предиката $F(x, X)$. В случае, когда разбиение R , порождаемое текстовым предикатом E , известно, соответствующую ему текстовую функцию F можно вычислить по формуле $F(x, X) = \exists G (G \in R \wedge x \in G \wedge X \in G^c)$ (5). Если текстовая функция F известна, то соответствующий ей текстовый предикат E можно определить по формуле $E(x, y) = \exists X (X \in R \wedge (F(x, X) \sim \sim F(y, X)))$ (6).

Итак, мы получили формальное определение текста и его смысла, при этом было установлено, что текст X и его смысл связаны функциональной зависимостью $X=F(x)$. Будем говорить, что X есть текст смысла x . Дальнейшая наша задача заключается в том, чтобы представить смысл x в виде вектора $x=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ с компонентами X_1, X_2, \dots, X_n . Переменные X_1, X_2, \dots, X_n назовем признаками смысла x , а их значения — оттенками смысла x . Каждый человек интуитивно знаком с оттенками смысла, более того, он постоянно практически оперирует ими. Когда, к примеру, мы характеризуем медвежонка как маленького, мохнатого и смешного, то этим указываем оттенки смысла слова *медвежонок*. Смысл, представленный контекстом *лампой*, можно однозначно задать двумя оттенками — творительный падеж и единственное число. Отдельно взятому оттенку может соответствовать несколько различных смыслов, обладающих этим оттенком. Так, в нашем примере оттенку «творительный падеж» соответствует множество из двух смыслов {*лампой, лампами*}, оттенку «единственное число» соответствует множество из шести смыслов {*лампа, без лампы, к лампе, лампу, лампой, о лампе*}.

Таким образом, с каждым оттенком x можно взаимно однозначно связать множество T_x всех смыслов, обладающих этим оттенком. Это дает нам право любой оттенок смысла математически описывать в виде некоторого подмножества множества смыслов N . При этом обнаруживается любопытный факт: с абстрактной точки зрения нет причин различать тексты и оттенки. Тексты и оттенки — это математические структуры одного и того же типа. Как те, так и другие являются подмножествами множества N . В дальнейшем любые подмножества множества N будем рассматривать в качестве формального эквивалента оттенков смысла. Систему N всех подмножеств множества N будем интерпретировать как множество оттенков смыслов множества N . Систему N формально можно ввести с помощью предиката $N(X) = \forall G(G \subseteq N \supset X^G)$ (7).

Перейдем теперь к формальному определению понятия „признак“. Каждый признак $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ смысла $x = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$ представляет собой переменную, изменяющуюся на некотором множестве оттенков $R_i \subseteq N$. Пусть $R_i = \{c_{1i}, c_{2i}, \dots, c_{li}\}$, где $c_{1i}, c_{2i}, \dots, c_{li}$ — значения переменной X_i . В нашем примере вводим два признака: падеж R_1 и число R_2 . Падеж $R_1 = \{c_{11}, c_{21}, c_{31}, c_{41}, c_{51}, c_{61}\}$ имеет шесть возможных значений оттенков: c_{11} — именительный, c_{21} — родительный, c_{31} — дательный, c_{41} — винительный, c_{51} — творительный, c_{61} — предложный. Число $R_2 = \{c_{12}, c_{22}\}$ имеет два возможных значения: c_{12} — единственное, c_{22} — множественное. Число n — это число признаков смысла x , в нашем примере

$n=2$. Число l_i — это число оттенков в области изменения признака X_i , в нашем примере $l_1=6$, $l_2=2$.

Введем для краткости записи специальные обозначения для смыслов, фигурирующих в нашем примере: $a_1=$ лампа, $a_2=$ без лампы, $a_3=$ к лампе, $a_4=$ лампу, $a_5=$ лампой, $a_6=$ о лампе, $a_7=$ лампы горят, $a_8=$ ламп, $a_9=$ лампам, $a_{10}=$ в лампы, $a_{11}=$ лампами, $a_{12}=$ лампах. Теперь введенные в нашем примере оттенки можно представить в виде множеств: $c_{11}=\{a_1, a_7\}$, $c_{21}=\{a_2, a_8\}$, $c_{31}=\{a_3, a_9\}$, $c_{41}=\{a_4, a_{10}\}$, $c_{51}=\{a_5, a_{11}\}$, $c_{61}=\{a_6, a_{12}\}$, $c_{12}=\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$, $c_{22}=\{a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}$. Признак X_1 абстрактно можно выразить в виде следующей системы множеств $R_1=\{\{a_1, a_7\}, \{a_2, a_8\}, \{a_3, a_9\}, \{a_4, a_{10}\}, \{a_5, a_{11}\}, \{a_6, a_{12}\}\}$. Признаку X_2 соответствует система множеств $R_2=\{\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}, \{a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}\}$.

Введем также буквенные обозначения для текстов нашего примера, т. е. для окончаний: $b_1=$ —, $b_2=$ а, $b_3=$ е, $b_4=$ у, $b_5=$ ы, $b_6=$ ам, $b_7=$ ами, $b_8=$ ах, $b_9=$ ой.

Абстрактно тексты могут быть представлены множествами смыслов: $b_1=\{a_8\}$, $b_2=\{a_1\}$, $b_3=\{a_3, a_6\}$, $b_4=\{a_4\}$, $b_5=\{a_2, a_7, a_{10}\}$, $b_6=\{a_9\}$, $b_7=\{a_{11}\}$, $b_8=\{a_{12}\}$, $b_9=\{a_5\}$.

Рассматривая множества, полученные в нашем примере, замечаем, что оттенки, составляющие один признак, представляют собой попарно непересекающиеся множества. Это обусловлено тем, что смыслы могут совпадать лишь в том случае, когда совпадают все их оттенки. Поэтому один и тот же смысл не может присутствовать в двух множествах, соответствующих различным оттенкам. К тому же мы видим, что вместе взятые оттенки одного признака содержат в себе все смыслы множества N . В нашем примере имеем $c_{11} \cup c_{21} \cup c_{31} \cup c_{41} \cup c_{51} \cup c_{61} = c_{12} \cup c_{22} = N$.

Итак, оттенки одного признака — это непустые, попарно не пересекающиеся множества смыслов, объединение которых совпадает с множеством всех смыслов N . Это означает, что каждому признаку X_i можно поставить в соответствие вполне определенное разбиение R_i множества N . Это дает нам право в качестве формального эквивалента признаков смысла принимать разбиения множества N . Заметим, что понятия признака смысла и множества текстов с абстрактной точки зрения однотипны. Как то, так и другое является разбиением множества N . Для разбиений произвольного вида множества мы используем название «признаки смысла».

Признаки X_1, X_2, \dots, X_n будем формально задавать предикатами E_1, E_2, \dots, E_n , определенными на множестве $N \times N$. Предикат E_i назовем оттенковым предикатом i -го признака, его определяем следующим образом: если смыслы x и y обладают одним и тем же оттенком признака X_i , то полагаем $E_i(x, y) = 1$, если же оттенки признака X_i у смыслов x и y различны, то принимаем $E_i(x, y) = 0$. Для рассматриваемого нами примера имеем:

E_1 (лампа, лампы горят) = 1, поскольку у обоих смыслов падеж — именительный, E_2 (к лампе, о лампе) = 0, поскольку у смысла *к лампе* падеж — дательный, а у смысла *о лампе* падеж — предложный, E_2 (лампой, лампу) = 1, поскольку у обоих смыслов число единственное, а у смысла *лампами* число множественное.

Постулируем рефлексивность $\forall x(x \in N \supset E_i(x, x)) = 1$ (8),

симметричность $\forall x \forall y(x, y \in N \supset (E_i(x, y) \supset E_i(y, x))) = 1$ (9)

и транзитивность $\forall x \forall y \forall z(x, y, z \in N \supset (E_i(x, y) \wedge E_i(y, z) \supset E_i(x, z))) = 1$ (10) оттенков предикатов $E_i(i=1, 2, \dots, n)$.

Фактическое выполнение этих свойств очевидно. Таким образом, предикаты E_1, E_2, \dots, E_n представляют собой эквивалентности. Отсюда следует, что каждый из предикатов E_1, E_2, \dots, E_n порождает разбиение множества N соответственно R_1, R_2, \dots, R_n . Эти разбиения мы и примем в качестве формального эквивалента признаков X_1, X_2, \dots, X_n . Разбиение R_i множества N , порожаемое эквивалентностью E_i , можно определить по формуле

$$R_i(X(x)) = \exists y(y \in N \wedge X(x) E_i(x, y)). \quad (11)$$

Рассмотрим функцию $F_i: N \rightarrow R_i(i=1, 2, \dots, n)$, которая ставит в соответствие смыслу x оттенок c_{xi} признака R_i . В нашем примере имеем F_1 (лампа) = именительный, F_2 (лампа) = единственное и т. д. Функцию F_i назовем оттенковой функцией i -го признака. Равенство $X_i = F_i(x)$, где X_i — оттенок из признака для R_i для смысла x , будем формально записывать с помощью предиката $F_i(x, X)$. В случае, когда разбиение R_i , порожаемое оттенковым предикатом E_i , известно, соответствующую этому разбиению оттенковую функцию F_i можно вычислить по формуле $F_i(x, X) = \exists G(G \in R_i \wedge x \in G \wedge X \in G)$ (12).

Если оттенковая функция F_i известна, то соответствующий ей оттенковый предикат E_i можно определить по формуле

$$E_i(x, y) = \exists X(X \in R_i \wedge (F(x, X) \sim F(y, X))). \quad (13)$$

Введем теперь понятие полного набора признаков (R_1, R_2, \dots, R_n) для множества смыслов N . Набор признаков назовем полным, если для каждого смысла X найдется набор значений признаков (X_1, X_2, \dots, X_n) такой, что $X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n = a$. Формально свойство полноты набора признаков (R_1, R_2, \dots, R_n) выражается следующим предикатом:

$$P(R_1, R_2, \dots, R_n) = \forall x(x \in N \supset \exists X_1 \exists X_2 \dots \exists X_n (X_1 \in R_1 \wedge X_2 \in R_2 \wedge \dots \wedge X_n \in R_n) \wedge X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n = x). \quad (14)$$

Полный набор признаков можно рассматривать как координатную систему n -мерного пространства, в котором точками представлены значения смысла. Координатными осями в этом пространстве служат переменные X_1, X_2, \dots, X_n . Оттенковые функции

$X_i = F_i(x)$ осуществляют проектирование смысла x из n -мерного пространства на оси X_i . Каждому смыслу x соответствует в точности один набор значений признаков (X_1, X_2, \dots, X_n) . В полнение обратного условия мы не будем считать обязательным: мы полагаем, что, вообще говоря, могут существовать такие наборы значений признаков, которым не соответствуют какие бы то ни было смыслы. Таким образом, значения смыслов, вместе взятые, могут занимать не все n -мерное пространство, а лишь некоторую область в нем.

В нашем примере каждому смыслу всегда соответствует единственный набор значений признаков. Например, смысл *без лампы* соответствует пара оттенков — родительный, единственное. Более того, верно и обратное: каждому набору значений признаков соответствует некоторое значение смысла. Например, паре оттенков — предложный, множественное соответствует смысл *лампах*. Однако, если мы исключим из множества N , к примеру, смысл *лампах*, то последнее свойство нарушится: будет существовать набор значений признаков, для которого нет соответствующего ему смысла. Можно говорить о функции $\Phi: R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \rightarrow N$, преобразующей наборы значений признаков (X_1, X_2, \dots, X_n) в соответствующие им смыслы x . Такую функцию $x = \Phi(X_1, X_2, \dots, X_n)$ назовем парадигматической. Заметим, что парадигматическая функция не обязательно

Таблица 1

X_2	X_1					
	c_{11}	c_{21}	c_{31}	c_{41}	c_{51}	c_{61}
c_{12}	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
c_{22}	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}

должна быть всюду определенной, она может быть и частичной. Парадигматическая функция $x = \Phi(X_1, X_2)$ для нашего примера представлена табл. 1. Парадигматическую функцию

дадим предикатом $\Phi(X_1, X_2, \dots, X_n, x) = F_1(x, X_1) \wedge F_2(x, X_2) \wedge \dots \wedge F_n(x, X_n)$ (15).

Если текстовая функция F и парадигматическая функция уже найдены, то из них можно сформировать смысловой предикат $L(x, X, X_1, \dots, X_n) = F(x, X) \wedge \Phi(X_1, X_2, \dots, X_n, x)$ (16) связывающий воедино смысл x , текст X и признаки X_1, X_2, \dots, X_n . Уравнение $L(x, X, X_1, X_2, \dots, X_n) = 1$ (17) задает смысловое отношение. Из (15) и (16) вытекает, что смысловое отношение можно записать в виде системы уравнений:

$$F(x, X) = 1, F_1(x, X_1) = 1, F_2(x, X_2) = 1, \dots, F_n(x, X_n) = 1 \quad (18)$$

В нашем примере смысловое отношение можно задать следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} X^{b_1} &= x^{a_6}, X^{b_2} = x^{a_1}, X^{b_3} = x^{a_3} \vee x^{a_6}, X^{b_4} = x^{a_4}, X^{b_5} = \\ &= x^{a_2} \vee x^{a_7} \vee x^{a_{10}}, X^{b_6} = x^{a_9}, X^{b_7} = x^{a_{11}}, X^{b_8} = x^{a_{12}}, X^{b_9} = x^a \end{aligned}$$

$$X_{11}^c = x^{a_1} \vee x^{a_7}, X_{21}^c = x^{a_2} \vee x^{a_8}, X_{31}^c = x^{a_3} \vee x^{a_9}, X_{41}^c = x^{a_4} \vee x^{a_{10}},$$

$$X_{51}^c = x^{a_5} \vee x^{a_{11}}, X_{61}^c = x^{a_6} \vee x^{a_{12}}, X_{212}^c = x^{a_1} \vee x^{a_2} \vee x^{a_3} \vee x^{a_4} \vee$$

$$\vee x^{a_5} \vee x^{a_6}, X_{222}^c = x^{a_7} \vee x^{a_8} \vee x^{a_9} \vee x^{a_{10}} \vee x^{a_{11}} \vee x^{a_{12}}.$$

Его можно представить в виде табл. 2.

Наконец, мы можем ввести функцию $H: R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \rightarrow R$, преобразующую наборы значений признаков (X_1, X_2, \dots, X_n)

Таблица 2

x	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
X	b_2	b_5	b_3	b_4	b_9	b_3	b_5	b_1	b_6	b_5	b_7	b_8
X_1	c_{11}	c_{21}	c_{31}	c_{41}	c_{51}	c_{61}	c_{11}	c_{21}	c_{31}	c_{41}	c_{51}	c_{61}
X_2	c_{12}	c_{12}	c_{12}	c_{12}	c_{12}	c_{12}	c_{22}	c_{22}	c_{22}	c_{22}	c_{22}	c_{22}

в текст X . Такую функцию $X = H(X_1, X_2, \dots, X_n)$ назовем семантической функцией, ее можно получить в результате суперпозиций функций Φ и F записать в виде предиката:

$$H(X_1, X_2, \dots, X_n, X) = \exists x (L(x, X, X_1, X_2, \dots, X_n)). \quad (19)$$

В нашем примере семантическую функцию задаем той же системой уравнений, однако теперь на переменную x смотрим как на промежуточную. Пусть путем решения этой системы уравнений требуется отыскать окончание для дательного падежа и единственного числа. Имеем: $X_1 = c_{31}$, $X_2 = c_{12}$; таким образом $x^{a_3} \vee x^{a_9} = 1$ и $x^{a_1} \vee x^{a_2} \vee x^{a_3} \vee x^{a_4} \vee x^{a_5} \vee x^{a_6} = 1$, а значит, $x = a_3$. Окончательно $X = b_3$, т. е. мы получили окончание e . Решим также обратную задачу — найдем род и падеж для окончания e . Имеем: $X = b_3$, откуда $x^{a_3} \vee x^{a_6} = 1$. Если $x = a_3$, то $X_1 = c_{31}$, $X_2 = c_{12}$, если же $x = a_6$, то $X_1 = c_{61}$, $X_2 = c_{12}$. Таким образом, имеется два решения: 1) дательный падеж, единственное число, 2) предложный падеж, единственное число. Заметим, что представление семантической функции в виде системы (17)

Таблица 3

X_2	X_1					
	c_{11}	c_{21}	c_{31}	c_{41}	c_{51}	c_{61}
c_{12}	b_2	b_5	b_3	b_4	b_9	b_3
c_{22}	b_5	b_1	b_6	b_5	b_7	b_8

с промежуточной переменной x удобно для реализации на ЭВМ. Семантическая функция для нашего примера представлена табл. 3.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренок Ю. П. О проблемах математического описания морфологических отношений. — Библиогр. указатель ВИНТИ. Депонир. рукописи, 1981, № 4958, с. 21. 2. Шабанов-Кушнаренок Ю. П. Об алгебре конечных предикатов произвольного порядка. Библиогр. указатель ВИНТИ. Депонир. рукописи, № 4217, с. 15.

Поступила в редколлегию 08.04.81

УДК 510.62

А. Ф. ОСЫКА, канд. техн. наук, В. А. ЧИКИНА,
А. И. ЧУГУН, канд. техн. наук

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЯВЛЕНИЙ ЧЕРЕДОВАНИЯ

При математическом моделировании русского языка возникает необходимость в рассмотрении такого рода явлений, как чередования, так как значительная часть словоформ им подвержена. Чередования могут наблюдаться при формообразовании (конец — кон₁ц[а, резать — режу), а также при словообразовании (соб₁рать — собрать[у, тускл[ый — тускнеть, кни-з[а — книжиц[а]). Для различных частей речи при словоизменении рассматриваемые явления имеют свои особенности: у существительных они проявляются при склонении, у глаголов — при спряжении, у прилагательных — при переходе от полных форм к кратким.

В данной работе рассмотрим один из возможных подходов к математическому моделированию явлений чередования в именах существительных русского языка при словоизменении.

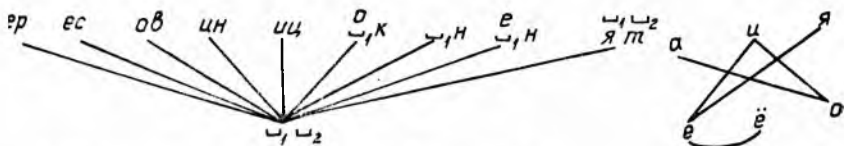
Под различными явлениями чередования будем понимать следующие лингвистические явления.



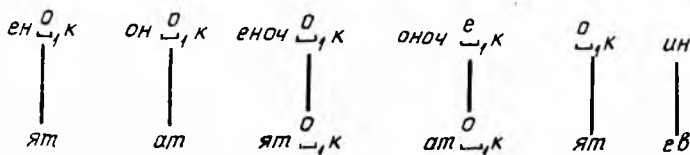
1. Беглость гласной или чередование гласной с ₁, обозначающим «нуль» гласной (слиток — слит₁к[а).

2. Беглое смягчение основы (словоформа без окончания). Рассматриваются случаи беглости в конце основы *ь*, *ь* (огонь — огнЕя, музей — музеЕя).

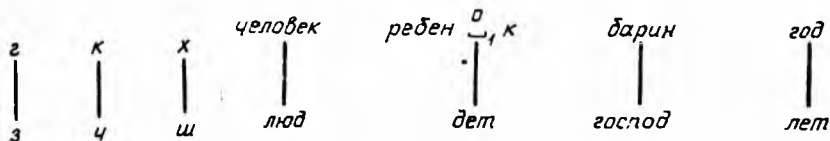
3. Беглость суффикса. В академической грамматике [1] рассматривается как наращение и усечение основы (гражданин — граждаЕе, знамЕя — знамён[а]).



4. Чередование гласных (зар[я — зор[и]).



5. Чередование суффиксов (хозяин — хозяев[а]).



6. Чередование согласных (друг — друз[я]).

7. Супплетивизм (человек — люд[и]).

В работе рассматривается письменная форма русского языка. Вследствие этого такие понятия как чередование, альтернативный ряд [1] будем применять для букв. Буквы (гласные, согласные, ь, й) или последовательности букв, принимающие участие в чередовании, составляют альтернативный ряд, а члены альтернативного ряда — альтернанты.

Математическим аппаратом для построения модели является алгебра конечных предикатов [2, 3]. Под математической моделью будем понимать определенным образом построенное морфологическое отношение $L(X, Y)$, выражающее зависимость фрагмента текста Y от его смысла X . Под фрагментом текста Y будем понимать альтернант $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, где y_1, y_2, \dots, y_n — соответственно 1-я, 2-я, ..., n -я буквы альтернанта, нумерация слева направо.

Под смыслом текста X будем понимать совокупность признаков, соответствующие наборы значений которых характеризуют условия существования альтернанта.

В именах существительных чередования представлены в финалях — конечных элементах основы, в частном случае они могут быть морфемами. В качестве финалей выступают как

суффиксы (или их части) (рисунок — рисунок₁к[а], воронёнок — воронён₁к[а]), части корня (лёд — льд[а]), так и отдельные буквы (музей — музе₁я, око — оч₁и).

Все рассмотренные альтернативные ряды имен существительных выделены в регистр из 8-ми разрядов:

согл.₄ глас.₃ согл.₃ глас.₂ согл.₂ \bar{y}_2 глас.₁ согл.₁ \bar{y}_1 .

Такой регистр выбран исходя из удобства математического описания, хотя приведенной последовательности букв нет ни у одного альтернанта. Самый длинный альтернант представлен явлением супплетивизма, например, человек — люд[и]. Альтернативный ряд в регистре размещен следующим образом:

$$y_9^4 y_8^e y_7^a y_6^0 y_5^b y_4^- y_3^c y_2^k y_1^- - y_9^- y_8^- y_7^- y_6^- y_5^a y_4^- y_3^0 y_2^d y_1^-.$$

Пустые места в соответствующих разрядах регистра заполняются пробелами.

Для современного языка наличие чередования в большой степени обуславливается буквенным окружением альтернанта (в частном случае соседними морфемами). Это влияние описывается вектором смысла $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, где x_1, x_2, \dots, x_m — компоненты вектора смысла, а именно: x_1 — падеж со значениями: и — именительный, р — родительный, д — дательный, в — винительный, т — творительный, п — предложный,

$x_1^i \vee x_1^p \vee x_1^d \vee x_1^v \vee x_1^t \vee x_1^p = 1$; x_2 — число со значениями

e — единственное, m — множественное, $x_2^e \vee x_2^m = 1$; x_3 — оду

шевленность со значениями: 0 — одушевленный, н — неоду

шевленный, $x_3^0 \vee x_3^n = 1$; x_4 — ударность альтернанта со значениями: y — ударен, б — безударен, $x_4^y \vee x_4^b = 1$; x_5 — мягкость

последней буквы усеченной основы (основа без финали) с значениями: м — мягкая, т — твердая, $x_5^m \vee x_5^t = 1$; x_6 — вариант чередования со значениями: 0 — основной, н — неоснов

ной, $x_6^0 \vee x_6^n = 1$. К x_6^n относятся словоформы, имеющие не

стандартную чередующуюся гласную (ва₁й[я — ваий, кочан-коча₁н[а, семен[а — семян, заяц — зайц[а]). Все остальные существительные имеют $x_6 = d$.

x_7 — тип склонения альтернантов, $x_7^1 \vee x_7^2 \vee \dots \vee x_7^{42} = 1$

Этот признак осуществляет классификацию чередований внутри конкретного явления. Выделяются отдельным типом склонения и словоформы, не имеющие чередований.

Компоненты вектора смысла X можно разбить на два подмножества: x_1 — x_3 учитывают влияние дальнего текста, а x_4 — x_7 — влияние ближнего текста, т. е. буквенного состава словоформы. Опосредованное влияние дальнего текста через окончание не учитывается.

Возможные соотношения альтернантов показаны на схемах 1—7. В схемах учтены и изолированные альтернативные ряды.

Индексы при a, b, β указывают на различное местонахождение их в основе. Как видно из приведенных схем, альтернативные ряды состоят из двух альтернантов (за некоторым исключением: сапожок — сапож \perp к[а — сапожек). Случаи, когда в основе встречаются более чем два альтернанта, не редки, например, мышонок — мышон \perp к[а — мышат[а. Но в связи с тем, что мы расклассифицировали рассматриваемые явления, нам удалось избежать такого рода сложностей при построении модели.

Далее полагаем, что мы умеем решать задачу выделения альтернанта из словоформы и помещать его в регистр, а также обратную ей задачу из регистра помещать в словоформу.

Посмотрим на явления чередования с формальной точки зрения. Такой подход приводит к тому, что мы получаем 9 предикатов, описывающих появление альтернанта в зависимости от тех компонентов вектора смысла X , которые характеризуют влияние дальнего текста. Далее, идя по пути упрощения, заметим, что при разложении предикатов по числу (переменная x_2) мы получим предикаты более компактного вида, а именно:

$$\begin{aligned} P_1(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) &= x_2^c P_{11} \vee x_2^m P_{14}; P_2(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) = \\ &= x_2^c P_{12} \vee x_2^m P_{14}; P_3(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) = x_2^c P_{12} \vee x_2^m P_{21}; P_4(x_1, x_2, x_3, \\ &\beta, \gamma) = x_2^c P_{13} \vee x_2^m P_{14}; P_5(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) = x_2^c P_{11} \vee x_2^m P_{21}; \\ P_6(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) &= x_2^c P_{13} \vee x_2^m P_{22}; P_7(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) = \\ &= x_2^c P_{11} \vee x_2^m P_{22}; P_8(x_1, x_2, x_3, \beta, \gamma) = x_2^c P_{14} \vee x_2^m P_{21}; P_9(x_1, x_2, \\ x_3, \beta, \gamma, \xi) &= x_2^c P_{11} \vee x_2^m P_{23}; P_{10}(x_1, x_2, x_3, \alpha) = P_{15}. \quad (1) \end{aligned}$$

Поясним, что представляют собой предикаты, стоящие в правых частях (1):

$$\begin{aligned} P_{11}(x_1, x_3, \beta, \gamma) &= t^1 \beta \vee (t^2 \vee t^3 \vee t^4) \gamma; P_{12}(\beta) = \beta; \\ P_{13}(x_1, x_3, \beta, \gamma) &= (t^1 \vee t^4) \beta \vee (t^2 \vee t^3) \gamma; \\ P_{14}(\gamma) &= \gamma; P_{15}(\alpha) = \alpha; P_{21}(x_1, x_3, \beta, \gamma) = t^2 \gamma \vee (t^1 \vee t^3 \vee t^4) \beta; \\ P_{22}(x_1, x_3, \beta, \gamma) &= t^4 \beta \vee (t^1 \vee t^2 \vee t^3) \gamma; P_{23}(x_1, x_3, \gamma, \xi) = t^2 \xi \vee \\ &\vee (t^1 \vee t^3 \vee t^4) \gamma; P_{24}(\gamma) = \gamma; P_{25}(\alpha) = \alpha, \text{ заметим, что } P_{14} = P_{24}, \\ P_{15} &= P_{25}. \text{ Таким образом нет необходимости с введением пре-} \\ &\text{дикатов } P_{14}, P_{15} \text{ вводить предикаты } P_{24}, P_{25}. \end{aligned}$$

Константы t^1, t^2, t^3, t^4 используются для сокращения математической записи: $t^1 = x_1^m \vee x_1^n x_3^n$; $t^2 = x_1^p \vee x_1^b x_3^0$; $t^3 = x_1^a \vee x_1^n$; $t^4 = x_1^r$.

Сформулируем на формальном уровне правила для введенных предикатов $P_1 \div P_{10}$: предикат P_1 описывает альтернативный ряд из двух альтернантов, один из которых (β) присутствует в основах в единственном числе именительном падеже и винительном неодушевленном, а другой (γ) — во всех оставшихся падежах единственного и множественного числа (орёл, орёл[а, орёл[у, орёл[а/(орёл), орёл[ом, орёл[и, орёл[ы, орёл[ов, орёл[ам, орёл[ов/(орёл[ы), орёл[ами, орёл[ах]); в предикате альтернанты (β , γ) противопоставлены по числу (судн[о, судн[а, судн[у, (судн[а)/судн[о, судн[ом, судн[и, суд[а, суд[ов, суд[ам, (суд[ов)/суд[а, суд[ами, суд[ах]); предикат P_3 описывает появление одного из альтернантов γ в основах во множественном числе родительном падеже и винительном неодушевленном, другого β — в оставшихся падежах множественного числа и в единственном числе (масёл[о, масёл[и, масёл[у, (масёл[а/(масёл[о, масёл[ом, масёл[е; масёл[и, масёл[ам, (масёл)/масёл[а, масёл[ами, масёл[ах]), предикат P_4 описывает альтернативный ряд из двух альтернантов, один из которых β присутствует в основах в единственном числе в именительном падеже, винительном неодушевленном и творительном, другой γ — в оставшихся падежах единственного числа и во множественном (дверь, дверь[и, дверь[и, (двер[и) дверь, дверь[ю; дверь[и; дверь[и, дверь[ей, дверь[ям, (двер[ей) дверь[и, дверь[ями, дверь[ях]); в предикате P_5 альтернанты противопоставлены следующим образом: именительный падеж и винительный неодушевленный в единственном и множественном числе, а также во множественном числе дательный, творительный, предложный падежи β и оставшиеся падежи единственного и множественного числа γ (князь, князь[я, князь[ю, князь[и (князь), князь[ем, князь[е; князь[я, князь[ей, князь[ям, князь[ей (князь[я), князь[ями, князь[ях]); в предикате P_6 один из альтернантов β появляется в основах в единственном числе именительном падеже и винительном неодушевленном, а также в творительном падеже единственного и множественного числа другой γ — во всех оставшихся падежах единственного и множественного числа (лошадь, лошадь[и, лошадь[и, лошадь[и/(лошадь), лошадь[ю, лошадь[и; лошадь[и, лошадь[ей, лошадь[ям, лошадь[ей/(лошадь[и), лошадь[ми, лошадь[ях]); в предикате P_7 альтернанты противопоставляются следующим образом: единственное число именительный падеж и винительный неодушевленный и множественное число творительный падеж β и все оставшиеся падежи единственного и множественного числа γ (зверь, звер[я, звер[ю, звер[я/(зверь), звер[ем, звер[е; звер[и, звер[ей, звер[ям, звер[ей/(звер[и), зверь[ми, звер[ях]); в предикате P_8 один из альтернантов β появляется в единственном числе и во множественном числе родительном падеже и винительном неодушевленном, другой (β) — во всех оставшихся падежах мно

друг[ом, друг[е; друзь[я, друз[ей, друзь[ям, друз[ей/(друзь[я), друзь[ями, друзь[ях); предикат P_9 описывает, в отличие от рассмотренных предикатов $P_1 \div P_8$ альтернативный ряд из трех альтернантов, один из которых (β) появляется в единственном числе именительном падеже и винительном неодушевленном, другой ξ — во множественном числе родительном падеже и винительном одушевленном, а третий γ — во всех оставшихся падежах единственного и множественного числа (сапожок, сапож[к[а, сапож[к[у, (сапож[к[а)/сапожок, сапож[к[ом, сапож[к[е; сапож[к[и, сапожек, сапож[к[ам, (сапожек)/сапож[к[и, сапож[к[ами, сапож[к[ах); предикат P_{10} описывает все основы, в которых не происходит чередований при словоизменении (альтернативный ряд представлен одним альтернантом α).

Далее, если в каждом из предикатов $P_1 - P_{10}$ определить альтернанты $\alpha, \beta, \gamma, \xi$ на неформальном уровне, то это и будет собственно математическая модель явлений чередования в именах существительных при словоизменении.

Список литературы: 1. *Русская грамматика*. — М.: Наука, 1980. — Т. 1, 783 с. 2. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов. — АСУ и приборы автоматики, 1977, вып. 52, с. 21—28. 3. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* О математическом описании естественного языка. — Пробл. бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13.

Поступила в редколлегию 03.01.83.

УДК 681.51:007.5

Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, В. Г. АБДУЛА, Ю. А. УТКИН

СТРУКТУРНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ ДЕТАЛЕЙ, ДВИЖУЩИХСЯ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЕ

Значительные успехи в области вычислительной техники подготовили почву для перехода на качественно новый уровень в области автоматизации, что находит выражение в цеховых и заводских автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП). Новизна подхода в области определения дефектов деталей, движущихся на конвейерной ленте, прежде всего в создании легко переналаживаемого на новые типы деталей оборудования, управляемого от микроЭВМ, которая имеет оптический ввод изображения.

В данном случае определить точно геометрический дефект детали зрительной системой человека невозможно по причине утомляемости, малой точности, инерционности зрительной системы и малой производительности. Речь идет о создании искусственных систем распознавания, не имеющих перечисленных

недостатков зрительной системы человека, правда, в особых условиях.

Однако технические трудности, в частности требуемое большое быстродействие и хранилище изображения большой емкости, сдерживают разработку и применение таких систем.

Структурные принципы распознавания позволяют существенно продвинуться в решении этих вопросов. Рассмотрим процесс распознавания, включивший в себя три этапа: предварительная обработка исходных данных текущего или эталонного изображения детали и формирование таблицы признаков; нормализация и поиск наилучшего взаимного положения для совмещения текущей и эталонной таблицы признаков; совмещение изображений (таблиц признаков) текущей детали и эталона проверка их идентичности.

Исходное изображение детали, поступающее с телевизионной камеры, образует массив (матрицу) данных от $128 \times 128 \times 6$ бит до $1024 \times 1024 \times 6$ бит (в зависимости от минимальных размеров дефекта и точности измерений, которые необходимо определить). Общий объем хранилища исходного изображения 1048576 элементов с 64-мя уровнями яркости очень большой и не отвечает техническим возможностям современных микро-ЭВМ, у которых 16-разрядный адресный регистр и, следовательно, максимально возможный объем памяти — 65000 байт.

Вторым важным требованием к системе распознавания дефектов деталей является требование быстродействия порядка 5—10 млн. опер./с. Оно вытекает из требований на экономические показатели системы (больше быстродействие — выше скорость конвейера — меньше срок окупаемости системы). Современные микро-ЭВМ имеют быстродействие порядка 250—500 тыс. опер./с, т. е. на порядок меньше требуемых.

Исследуя принципы распознавания в условиях дефицита времени, приходим к выводу о необходимости пристального изучения бионической и физиологической литературы, отвечающей на вопрос: «Как мы видим то, что видим?». Природные системы распознавания (физиологические механизмы зрения) формировались путем естественного отбора за миллиарды лет эволюции живых систем, поэтому их можно считать лучшими (эталонными) системами, знание о принципах переработки информации в которых можно использовать при моделировании технических систем. В коре головного мозга животных обнаружены простые, сложные и сверхсложные поля (поля — врожденные структуры) [1—3].

Простые рецептивные поля «настроены» на выделение прямых тонких линий. Имеются поля, ощущающие наклон линий примерно через каждые шесть градусов во всем диапазоне углов от нуля до ста восьмидесяти. Есть поля, которые видят только горизонтальную линию, движущуюся сверху вниз, а на вертикальную, гуляющую вправо-влево, внимания не обращают.

Из сказанного растет понимание того, как мозг начинает обрабатывать зрительную информацию на предварительном этапе.

Он «старается» максимально сократить поступающую информацию, но сжимает ее специфически. Одна и та же информация из входных полей сетчатки поступает по зрительному тракту в различные физиологические структуры [3]. Каждая такая структура обрабатывает информацию параллельно с другими структурами, но отвечает только за свой участок, например, только прямая, дуга или угол.

Фильтрация как средство подавления шума на входе системы распознавания является самостоятельной частью и выходит за рамки этой работы.

Предварительная обработка исходных данных текущего и эталонного изображения детали и формирование таблицы признаков. Одна из основных (кроме фильтрации) задач первого этапа работы системы — снижение исходного объема информации. Наиболее информативная часть в определении дефекта детали заключена в граничных линиях, представляющих контуры основных элементов изображения. Для выделения контурных линий можно воспользоваться следующими цифровыми дифференциальными операторами:

а) модуль «градиента» с окном размером 2×2

$$|\Delta H_{x,y}| = \sqrt{(H_{x+1,y+1} - H_{x,y})^2 + (H_{x,y+1} - H_{x+1,y})^2}, \quad (1)$$

или его более просто вычисляемый аналог

$$|\Delta H_{x,y}| = |H_{x+1,y+1} - H_{x,y}| + |H_{x,y+1} - H_{x+1,y}|; \quad (2)$$

б) модуль «градиента» с окном размером 3×3

$$|\Delta H_{x,y}| = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}, \quad (3)$$

где $S_x = [(H_{x+2,y} + 2H_{x+2,y+1} + H_{x+3,y+3}) - (H_{x,y} + 2H_{x,y+1} + H_{x,y+2})]$; $S_y = [(H_{x,y+2} + 2H_{x+1,y+2} + H_{x+3,y+3}) - (H_{x,y} + 2H_{x+1,y} + H_{x+2,y})]$, или его более простой вычисляемый аналог $|\Delta H_{x,y}| = |S_x| + |S_y|$ (4), который можно использовать более эффективно с точки зрения скорости вычислений.

Решение о наличии контура принимается в результате сравнения амплитуды $|H_{x,y}|$ с порогом T . Если $|H_{x,y}| > T$, то считается, что в данном месте присутствует точка контура, если же $|H_{x,y}| \leq T$, то контур отсутствует. Результат обнаружения контура представляется в виде двумерного массива $K_N(x, y)$, где x, y — координаты N -й контурной точки изображения.

Величина порога T влияет на чувствительность цифрового дифференциального оператора. При отсутствии шума порог

можно выбирать таким, что все перепады яркости с минимальным уровнем контрастности будут обнаружены и определены как контуры, во всех остальных точках изображения контуры будут отсутствовать. Из-за технических трудностей (статистической обработки большого количества изображений) эксперименты с подбором порога T проводить не обязательно. Согласно работе [4] его можно принять равным 1, что является средним его значением.

Анализ цифровых дифференциальных операторов показывает, что наиболее подходящими в данном случае будут операторы (2) и (4).

Они наиболее просто могут быть реализованы аппаратно на микросхемах большой и средней степени интеграции. В работе [5] предлагается устройство ввода контура в ЭВМ, которое может работать со скоростью луча развертки телекамеры. Такое устройство экономит машинное время и емкость рабочей памяти, используемой при вводе известными методами.

В результате работы оператора количество точек в изображении снижается с 65000 до менее чем 1000, что очень важно в случае использования микро-ЭВМ в управлении АСУ ТП.

Далее граничные точки прореживаются: удаляются точки, лежащие в малой окрестности по координатам и угловым параметрам. На этом этапе устраняются также все разветвления, т. е. остаются связи только с двумя соседними.

На рис. 1, а приведен пример изображения детали, полученного после применения к исходному изображению цифрового оператора выделения контура и прореживания.

Следующий этап снижения информационной емкости — поиск аппроксимирующей кривой, проходящей через оставшиеся граничные точки.

Аппроксимация контура с помощью прямых и дуг окружностей вполне приемлема для многих практических задач распознавания геометрических дефектов деталей.

С этой целью анализируется зависимость кривизны $\Delta\theta/\Delta l$ и угла наклона θ касательной к граничной линии от расстояния l вдоль кривой. По результатам анализа кривизны и угла наклона касательной точки на граничной линии объединяются в линейные и криволинейные группы, которым соответствуют горизонтальные и наклонные участки функции $\theta(l)$. Границы участков находятся в точках резкого изменения кривизны (рис. 1, б). В каждой линейной группе из n точек определяются параметры θ и C прямой $X \cos \theta + Y \sin \theta + C = 0$ (5).

Для этого минимизируется выражение

$$Q = \sum_{i=1}^n [X_i \cos \theta + Y_i \sin \theta + C]^2. \quad (6)$$

Параметры θ и C находятся следующим образом:

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \left[- \sum_{i=1}^n X_i / \left(T \sum_{i=1}^n X_i + \sum_{i=1}^n X_i Y_i \right) \right], \quad (7)$$

$$C = T \sin \theta, \quad (8)$$

$$T = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}.$$

где

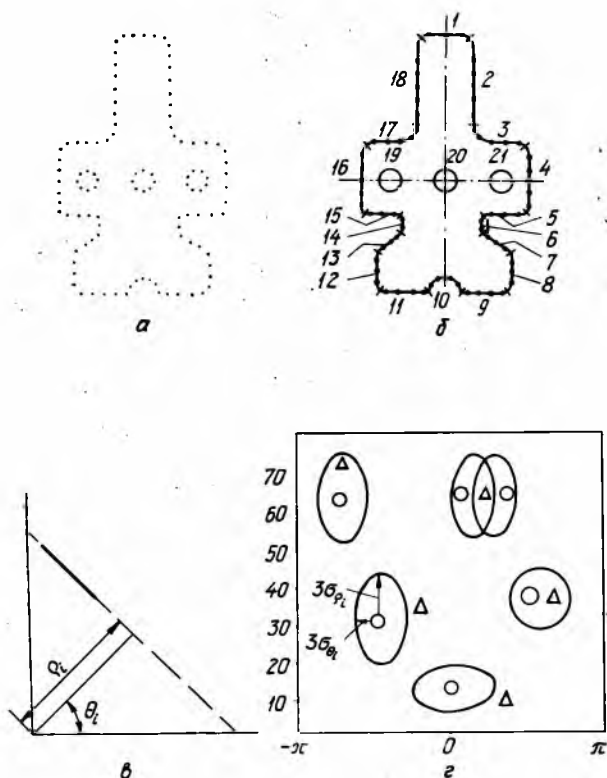


Рис. 1

Чтобы подобрать прямую линию в группе из n точек, можно также применить последовательную процедуру, основанную на методе наименьших квадратов. Задача заключается в определении наилучших коэффициентов A , B и C для уравнения прямой $AX_i + BY_i = C$ (9).

Данные поступают последовательно в виде координат точек (x, y) , и желательно при добавлении каждой новой точки делать как можно меньше пересчетов. Однако при каждом добавлении точки коэффициенты A, B, C и среднеквадратичная ошибка E должны корректироваться. Для этого достаточно сохранять в памяти пять чисел, представляющих накапливаемые суммы:

$$\sum_{i=1}^n X_i, \quad \sum_{i=1}^n Y_i, \quad \sum_{i=1}^n X_i Y_i, \quad \sum_{i=1}^n X_i^2, \quad \sum_{i=1}^n Y_i^2 \quad (11)$$

и число шагов n . Тогда после добавления каждой новой точки коэффициенты можно вычислить по формулам

$$A = \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i; \quad (11а)$$

$$B = \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i^2 - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i; \quad (11б)$$

$$C = \sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i; \quad (11в)$$

$$E = C \left(nC - A \sum_{i=1}^n X_i - B \sum_{i=1}^n Y_i \right) / n(A^2 + B^2). \quad (11г)$$

Процедура подбора линии к последовательности связанных точек начинается с выбора массива точек линейной группы с наименьшим номером i . Номера групп назначаются по результатам анализа кривизны вдоль кривой. Подбор прямых линий выполняется в одном направлении, пока не будут исчерпаны номера всех линейных групп. Кроме координат конечных точек линий x_{i1}, y_{i1} и x_{i2}, y_{i2} , вычисляем интервалы ρ_i , а также ориентацию линий θ (рис. 1, в). Результаты подбора сведены в таблицу структурных признаков (рис. 2).

Для проведения дуги окружности радиуса R с центром (X_0, Y_0) через n точек криволинейной группы минимизируется выражение (12)

$$Q = \sum_{i=1}^n [(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 - R^2]^2, \quad (12)$$

получаем

$$R^2 = (1/n) \left[\sum_{i=1}^n (X_i - X_0)^2 + \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)^2 \right]. \quad (13)$$

Если принять (x_1, y_1) — координаты первой точки стыковки, (x_2, y_2) — координаты второй точки стыковки, то координаты центра дуги (X_0, Y_0) и ее радиус R определим следующим образом:

$$X_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} + \frac{h(y_1 - y_2)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}; \quad (14)$$

$$Y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{h(x_1 - x_2)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}; \quad (15)$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{x_1 - x_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_1 - y_2}{2}\right)^2 + h^2}, \quad (16)$$

где h находим из условия $Q(h) = \text{мин}$ (17) методом последовательных приближений (18) или градиентного спуска:

$$h^{(k+1)} = h^{(k)} - LQ_h, \quad (18)$$

где k — шаг интеграции.

Значение L в начале процедуры принимаем равным 1,0 и уменьшаем в случае изменения знака производной, Q_h определяем на основании вида функции (12), (14) — (16).

Кроме координат центра и радиуса дуги вычисляем также длину дуги по соотношению

$$l_i = \frac{2\pi R_i \alpha_i}{360^\circ} = 0,0174 R_i \alpha_i, \quad (19)$$

где R_i — радиус i -й дуги; α_i — центральный угол, соответствующий дуге окружности.

Периметр P кривой, состоящей из прямых и дугообразных участков, находим, как сумму длин l_i :

$$P = \sum_{i=1}^N l_i, \quad (20)$$

$N=21$ в случае детали, показанной на рис. 1, б.

Результаты сведены в таблицу структурных признаков.

Номер линии i	Координаты конечных точек линии исходной детали и эталона						Ориентация и длина		Параметры ошибки	
	X_{i1}	Y_{i1}	X_{i2}	Y_{i2}	ρ_i	R_i	θ_i	l_i	σ_{θ_i}	σ_{ρ_i}
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

На рис. 1, б приведено изображение детали, аппроксимированное 21-й прямой и дугами окружностей, на рис. 1, г — эллипсы текущего и эталонного изображений в пространстве.

Достигнутое сокращение объема информации значительно облегчает дальнейшие операции с изображением.

При создании образа текущей детали или эталона вычисляются такие параметры, как координаты центра тяжести фигуры (21), площадь фигуры и отдельных ее фрагментов, другие параметры, необходимые для выявления геометрических дефектов:

$$X_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i H_i}{\sum_{i=1}^n H_i}; \quad Y_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i H_i}{\sum_{i=1}^n H_i},$$

где H_i — амплитуда функции яркости; X_i, Y_i — координаты i -й точки.

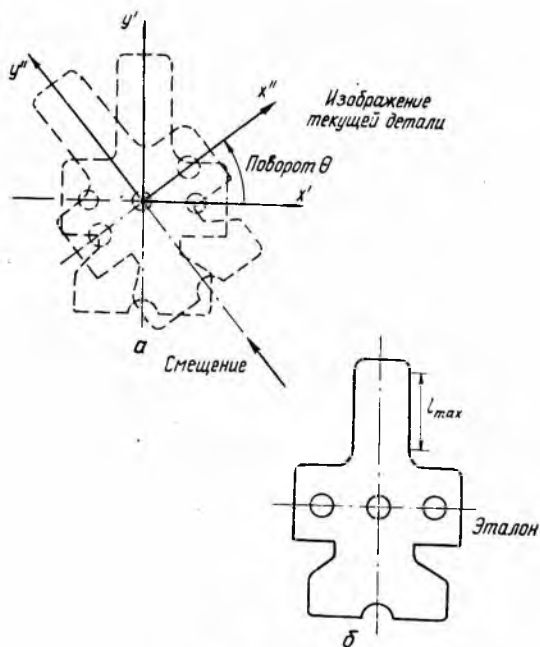


Рис. 2

В отличие от образа текущей детали, образ эталона (рис. 2) всегда находится в центре изображения, контурные точки его равномерно распределены вдоль граничной линии.

Нормализация и поиск наилучшего взаимного положения эталонного изображения детали. Детали, поступающие для контроля, имеют различную ориентацию на ленте конвейера. Их необходимо сравнить с эталонами, находящимися в центре изображения. Совмещение изображений эталона и текущей детали осуществляется путем нормализации (сдвига и вращения)

эталоны вокруг центра тяжести. Первоначально происходит совмещение координат центра тяжести эталона с координатами центра тяжести текущей детали.

Согласно двумерному сдвигу в однородных координатах [6, 7], совмещение выполняем с помощью преобразования

$$[XY1] \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ m & n & 1 \end{bmatrix} = [X + m \quad Y + n] = [X^*Y^*], \quad (22)$$

где m, n — параметры смещения; X, Y — координаты контурных точек; X^*, Y^* — координаты результата смещения контурных точек эталона.

Совмещение осей симметрии выполняется путем вращения в однородных координатах вокруг центра тяжести с помощью преобразования

$$[XY1] \times \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ -m(\cos \theta - 1) + n(\sin \theta) & -m(\sin \theta) - n(\cos \theta - 1) & 1 \end{bmatrix} = [X^*Z^*]. \quad (23)$$

В зависимости от геометрических свойств изображения эталона, например, наличия оси симметрии или симметрических фрагментов, используем различные методы нахождения параметров и нормализации. Если эталон, как на рис. 2, обладает осью симметрии, параллельной максимальному линейному участку в структурной таблице признаков, то нахождение угла поворота θ производим путем сравнения углов ориентации максимальных линейных участков текущего изображения детали и эталона. Если фигура эталона не обладает симметрией, то вычисляем взаимную корреляцию функций $\theta(S)$ граничных кривых эталона и изображения текущей детали. По функции кросс-корреляции определяем координаты точки совмещения.

Совмещение изображений текущей детали и эталона, проверка их идентичности. Совмещение изображений текущей детали и эталона производится следующим образом. Вначале сравниваем обобщенные характеристики их образов, а именно: тип линии (прямая, дуга, окружность, смешанная); длина линии или радиус окружности; число отрезков прямых; число дуг; площадь, ограниченная внешним контуром; площадь внутренних отверстий; компактность фигуры (отношение площади к квадрату периметра); отношение моментов инерции (минимального к максимальному).

Схожесть изображений оцениваем по эмпирическим формулам. Например, коэффициент схожести по площади K_{cx} (пл) вычисляем согласно преобразованию

$$K_{cx}(\text{пл}) = \frac{10(S_3 - S_{\text{тл}})}{S_3}, \quad (24)$$

где $S_{э}$, $S_{тд}$ — площади эталона и текущей детали, ограниченные внешним контуром.

Общий коэффициент схожести получается суммированием составляющих его коэффициентов. Если он меньше допустимого порога, выносится решение о неуспехе сравнения и происходит переход к сравнению следующего эталона. Этот прием необходим для сокращения времени сравнения.

На последнем этапе сравнения, так называемом глобальном сравнении, изображение эталона (опорные точки) накладывается на изображение текущей детали. По доле опорных точек, совпадающих с граничными линиями текущей детали, выносится решение об успехе (или неуспехе) глобального сравнения. Совпадение опорной точки с граничной линией определяется в зависимости от попадания граничной линии в заданную площадь эллипса ошибки (рис. 1, 2). Попадание в площадь эллипса ошибки означает близость структурных признаков (координат и нормалей к граничной линии).

Комплекс программ, моделирующих структурные принципы распознавания, реализуется на ЭВМ ЕС 1050. Выборочное испытание частей системы программ показало достаточную работоспособность методики сокращения размерности изображения и формирования таблиц структурных признаков. Однако большое время (порядка 2÷3 мин), затрачиваемое ЭВМ на минимизацию расстояний в точках стыковки отрезков, вызывает необходимость в дальнейших исследованиях.

Предполагается в дальнейшем снизить затраты процессорного времени, в том числе за счет передачи аппаратуре функции выделения граничных линий, и реализовать систему программ на мини-ЭВМ СМ-4.

Информация, полученная в процессе моделирования, может быть использована при проектировании роботизированных участков народного хозяйства.

Список литературы: 1. Демидов В. Е. Как мы видим то, что мы видим. — М.: Знание, 1979. — 206 с. 2. Глезер В. Д. Механизмы опознавания зрительных образов. — М.: Наука, 1966. — 254 с. 3. Прибрам К. Языки мозга. — М.: Прогресс, 1975. — 463 с. 4. Абду И. Э., Прэтт У. К. Количественный расчет детекторов контуров, основанных на подчеркивании перепадов яркости с последующим пороговым ограничением. — Тр. ин-та инж. по радиоэлектронике, 1979, 5, с. 59—70. 5. Устройство ввода контура в ЭВМ. Заявка Японии № 56—19655. Оpubл. 08.05.81. 6. Нормализация вращения плоских изображений/Е. П. Путятин, О. М. Абрамов, В. П. Юрченко и др. — Пробл. бионики, 1972, вып. 9, с. 61—69. 7. Роджерс Д., Адамс Д. Математические основы машинной графики. — М.: Машиностроение, 1980. — 240 с.

Поступила в редколлегию 20.12.82.

И. В. ГОНЧАРЮК, д-р физ.-мат. наук, М. И. ТАРАСЕНКО

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ПЛАСТИНАХ СЛОЖНОГО ОЧЕРТАНИЯ

Известно, что температурные поля широко используются в бионических задачах [1]. Рассмотрим нестационарное температурное поле пластины толщины h при конвективном теплообмене на ее контуре и на поверхностях $z = \pm h/2$ при постоянных теплофизических характеристиках, которое сводится к решению уравнения

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$T = T_0 \text{ при } t = 0 \quad (2); \quad \frac{\partial T}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} (T - \theta_L)|_L = 0 \quad (3);$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\alpha_1}{\lambda_q} (T - \theta_1)|_{z=h/2} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\alpha_2}{\lambda_q} (T - \theta_2)|_{z=-h/2} = 0. \quad (5)$$

Здесь $T = T(x, y, z, t)$ — температура пластины; T_0 — начальная температура пластины; температура среды, соответственно на контуре L и на поверхностях $z = h/2$ и $z = -h/2$; $\alpha_L, \alpha_1, \alpha_2$ — коэффициенты теплоотдачи, соответственно на контуре пластины и на поверхностях $z = h/2$ и $z = -h/2$; λ_q и a — коэффициенты тепло- и температуропроводности материала пластины; n — внешняя нормаль к контуру пластины.

Если аппроксимировать распределение температуры T по толщине пластины степенным законом

$$T = \sum_{j=1}^m T^{(j)}(x, y, t) z^j, \quad (6)$$

то приведенная выше задача сводится к двумерной.

Предположим, что величины T_0 и θ_L не зависят от z . Рассмотрим следующие случаи.

1. Температура T постоянна по толщине пластины $j=0$ и $T = T^{(0)}$, получаем уравнение теплопроводности

$$\Delta T^{(0)} - \frac{2\gamma}{h^2} (T^{(0)} - \theta) = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t}, \quad (7)$$

где

$$\gamma = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2) h}{2\lambda_q}, \quad \theta = \frac{\alpha_1 \theta_1 + \alpha_2 \theta_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

при условиях $T^{(0)} = T_0$ при $t=0$ (8); $\frac{\partial T^{(0)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} (T^{(0)} - \theta_L)|_L = 0$ (9)

II. Температура T изменяется линейно по толщине пластины $j=0$ и $j=1$: $T = T^{(0)} + T^{(1)}z$ (10).

Для определения температурного поля получаем систему двух уравнений теплопроводности

$$\Delta T^{(0)} - \frac{2\gamma}{h^2} (T^{(0)} - \theta) - \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2h} T^{(1)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t}; \quad (11)$$

$$\Delta T^{(1)} - \frac{6(\gamma_1 - \gamma_2)}{h^3} T^{(0)} - \frac{6(2 + \gamma)}{h^2} (T^{(1)} - \mu) = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(1)}}{\partial t},$$

где $\mu = \frac{(\gamma_1 \theta_1 - \gamma_2 \theta_2)}{(2 + \gamma)h}$

при условиях $T^{(0)} = T_0$, $T^{(1)} = 0$ при $t=0$ (12),

$$\frac{\partial T^{(0)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} (T^{(0)} - \theta_L)|_L = 0; \quad \frac{\partial T^{(1)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} T^{(1)}|_L = 0. \quad (13)$$

При одинаковых коэффициентах теплоотдачи $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, а следовательно, и одинаковых параметрах $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ эти уравнения будут такими:

$$\Delta T^{(0)} - \frac{2\gamma}{h^2} (T^{(0)} - \theta) = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t}; \quad (14)$$

$$\Delta T^{(1)} - \frac{6(2 + \gamma)}{h^2} (T^{(1)} - \mu) = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(1)}}{\partial t}.$$

III. Температура T по толщине пластины изменяется по квадратичному закону $j=0$, $j=1$, $j=2$, $T = T^{(0)} + T^{(1)}z + T^{(2)}z^2$ (15).

В этом случае, считая как и выше коэффициенты теплоотдачи одинаковыми, получаем систему из трех уравнений такого вида:

$$\Delta T^{(0)} + \frac{3\gamma}{h^2} (T^{(0)} - \theta) + \frac{3\gamma + 20}{4} T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t}; \quad (16)$$

$$\Delta T^{(1)} - \frac{6(2 + \gamma)}{h^2} (T^{(1)} - \mu) = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(1)}}{\partial t};$$

$$\Delta T^{(2)} - \frac{60\gamma}{h^4} (T^{(0)} - \theta) - \frac{15(4 + \gamma)}{h^2} T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t}$$

при следующих начальных и граничных условиях:

$$T^{(0)} = T_0, T^{(1)} = T^{(2)} = 0 \text{ при } t = 0; \quad (16')$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} (T^{(0)} - \theta_L) \Big|_L = 0 \quad \frac{\partial T^{(1)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} T^{(1)} \Big|_L = 0; \\ \frac{\partial T^{(2)}}{\partial n} + \frac{\alpha_L}{\lambda_q} T^{(2)} \Big|_L = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Рассмотрим последовательно метод приближенного решения этих задач для всех трех случаев и для пластин сложного очертания.

I. Решение краевой задачи (7) — (9).

Обозначим $B^{(0)} = T^{(0)} - \theta_L$ и перейдем к однородным краевым условиям. Так как $\frac{\partial B^{(0)}}{\partial n} = \frac{\partial T^{(0)}}{\partial n}$, то краевое условие (9) для функции $T^{(0)}$ перейдет в следующее краевое условие для функции $B^{(0)}$:

$$\frac{\partial B^{(0)}}{\partial n} + K_0 B^{(0)} \Big|_L = 0 \quad (18), \quad \text{где } K_0 = \frac{\alpha_L}{\lambda_q},$$

а уравнение (7) перейдет в уравнение для функции $B^{(0)}$:

$$L[B^{(0)}] = \frac{1}{a} \frac{\partial B^{(0)}}{\partial t} \quad (19), \quad \text{где } L[B^{(0)}] = \Delta B^{(0)} + a_0 B^{(0)} + b_0, \quad \text{причем}$$

$$a_0 = -\frac{2\gamma}{h^2}; \quad b_0 = \frac{2\gamma(\theta - \theta_L)}{h^2}.$$

Начальные условия для функции $B^{(0)}$ будут такими: $B^{(0)} = T_0 - \theta_L$ при $t=0$ (20). Решение $B^{(0)}$ выберем в форме $B^{(0)} = P_0 \omega + P$ (21), где функция $\omega = \omega(m)$ обладает свойствами:

$$\omega > 0 \text{ в области } \Omega, \quad \omega|_L = 0, \quad \frac{\partial \omega}{\partial n} \Big|_{\partial \Omega} = 1. \quad (22)$$

Удовлетворив краевым условиям (18), получим

$$B^{(0)} = -\frac{\omega}{1 + \omega} \left(\frac{\partial P}{\partial n} + K_0 P \right) + P. \quad (23)$$

Пусть функция $P = P(m, t)$ имеет вид

$$P(m, t) = \sum_{j=1}^m c_j(t) \varphi_j(m), \quad (24)$$

где $c_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, m$ — неизвестные пока функции от t , $\{\varphi_j\}_1^m$ — некоторая полная в области Ω система функций.

Подставим эту функцию в соотношение (23) и заменим в нем производные $\frac{\partial \varphi_j}{\partial n}$ $j = 1, 2, \dots, m$ на дифференциальный оператор

$$D_1 \varphi_j = \frac{\partial \varphi_j}{\partial x} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_j}{\partial y} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (25)$$

имеющий смысл всюду внутри области Ω и обладающий свойством:

$$- D_1 \varphi_j|_{\partial \Omega} = \frac{\partial \varphi_j}{\partial n}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (26)$$

получим $B^{(0)} = \sum_{j=1}^m c_j(t) \psi_j(\mu)$ (27), где $\psi_j(\mu) = \varphi_j(\mu) -$

$$- \frac{\omega}{1 + \omega} (k_0 \varphi_j - D_1 \varphi_j), \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Выражение (26) представляет собой структуру решения краевой задачи (18) — (20), так как оно при любых функциях φ_j из системы $\{\varphi_j\}_1^\infty$ точно удовлетворяет граничным условиям (18).

Подберем теперь функции $c_j(t)$ и $\varphi_j(\mu)$ $j = 1, 2, \dots, m$ так, чтобы приближенно, в метрике энергетического пространства, удовлетворить дифференциальному уравнению (19) и начальным условиям (20).

Для этого функции $c_j(t)$ $j = 1, 2, \dots, m$ подчиним системе уравнений:

$$(L[B^{(0)}], \psi_i) - \frac{1}{a} \left(\frac{\partial B^{(0)}}{\partial n}, \psi_i \right) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (28)$$

Если предположить, что $B^{(0)} \in W_2^{(2)}(\Omega)$, то из соотношений (28) для определения функций $c_j(t)$ $j = 1, 2, \dots, m$ получим систему неоднородных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\sum_{j=1}^m \frac{dc_j}{dt} h_{ij} = \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} + d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (29)$$

где $h_{ij} = \frac{1}{a} \int_{\Omega} \psi_i \psi_j d\Omega$; $a_{ij} = \int_{\Omega} (\psi_i \Delta \psi_j + a_0 \psi_i \psi_j) d\Omega$; $d_i = b_0 \int_{\Omega} \psi_i d\Omega$,

$$i, j = 1, 2, \dots, m.$$

Приведем систему уравнений (29) к нормальной форме, для этого введем обозначение

$$g_i = \sum_{j=1}^m c_j a_{ij} + d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (30)$$

и перепишем систему (29) так:

$$\sum_{j=1}^m \frac{dc_j}{dt} h_{ij} = g_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (31)$$

По формулам Крамера $\frac{dc_j}{dt} = \frac{\Delta_j}{\Delta}, \quad j = 1, 2, \dots, m,$ (32)

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{mm} \end{vmatrix}, \quad \Delta_j = \begin{vmatrix} h_{11} & \dots & h_{1j-1} & g_1 & h_{1j+1} & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & \dots & h_{2j-1} & g_2 & h_{2j+1} & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{m1} & \dots & h_{mj-1} & g_m & h_{mj+1} & \dots & h_{mm} \end{vmatrix}.$$

Разложим определитель $\Delta_j, \quad j = 1, 2, \dots, m,$ по элементам j -го столбца:

$$\Delta_j = g_1 (-1)^{j+1} M_{1j} + g_2 (-1)^{j+2} M_{2j} + \dots + g_i (-1)^{i+j} M_{ij} + \dots \\ \dots + g_m (-1)^{j+m} M_{mj} \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (33)$$

Здесь M_{ij} — минор определителя Δ , получающийся вычеркиванием из него i -й строки и j -го столбца.

Сгруппируем теперь члены в правой части выражения (33) относительно неизвестных функций c_1, c_2, \dots, c_m и получим систему уравнений (29) в нормальной форме:

$$\frac{dc_1}{dt} = c_1 \gamma_{11} + c_2 \gamma_{12} + \dots + c_m \gamma_{1m} + \gamma_1; \\ \frac{dc_2}{dt} = c_1 \gamma_{21} + c_2 \gamma_{22} + \dots + c_m \gamma_{2m} + \gamma_2; \\ \dots \\ \frac{dc_m}{dt} = c_1 \gamma_{m1} + c_2 \gamma_{m2} + \dots + c_m \gamma_{mm} + \gamma_m.$$

Здесь

$$\gamma_{11} = [(-1)^{j+1} a_{11} M_{11} + (-1)^{j+2} a_{21} M_{21} + \dots + (-1)^{j+m} a_{m1} M_{m1}] / \Delta; \\ \gamma_{12} = [(-1)^{j+1} a_{12} M_{12} + (-1)^{j+2} a_{22} M_{22} + \dots + (-1)^{j+m} a_{m2} M_{m2}] / \Delta; \\ \dots \\ \gamma_{im} = [(-1)^{j+1} a_{1m} M_{1i} + (-1)^{j+2} a_{2m} M_{2i} + \dots + (-1)^{j+m} a_{mm} M_{mi}] / \Delta; \\ \gamma_i = [(-1)^{j+1} d_1 M_{1i} + (-1)^{j+2} d_2 M_{2i} + \dots + (-1)^{j+m} d_m M_{mi}] / \Delta, \\ i = 1, 2, \dots, m.$$

сформулированная для функции $B^{(0)}$, перейдет в краевую задачу для функции $T^{(1)}$. Поэтому ничего нового по сравнению с первой задачей здесь не возникает.

Получив решения для функций $T^{(0)}$ и $T^{(1)}$, по формуле (10) строим решение T .

III. Решение краевой задачи (16), (17).

Решение для функции $T^{(1)}$ получается по схеме, изложенной в п. II. Поэтому достаточно рассмотреть решение следующей краевой задачи:

$$\Delta T^{(0)} + \frac{3\gamma}{h^2}(T^{(0)} - \theta) + \frac{3\gamma + 20}{4} T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(0)}}{\partial t}; \quad (45)$$

$$\Delta T^{(2)} - \frac{60\gamma}{h^4}(T^{(0)} - \theta) - \frac{15(4 + \gamma)}{h^2} T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t}$$

при граничных

$$\frac{\partial T^{(0)}}{\partial n} + K_0(T^{(0)} - \theta_L) \Big|_L = 0, \quad \frac{\partial T^{(2)}}{\partial n} + K_0 T^{(2)} \Big|_L = 0 \quad (46)$$

и начальных условиях $T^{(0)} = T_0$, $T^{(2)} = 0$ при $t = 0$. (47)

Как и раньше, обозначим $B^{(0)} = T^{(0)} - \theta_L$.

В этом случае первое из их краевых условий (46) будет однородным, и мы получим краевую задачу

$$\Delta B^{(0)} + \mu_1 B^{(0)} + \mu_2 T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial B^{(0)}}{\partial t}; \quad (48)$$

$$\Delta T^{(2)} + \delta_1 B^{(0)} + \delta_2 T^{(2)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t},$$

где $\mu_1 = \frac{3\gamma}{h^2}$, $\mu_2 = \frac{3\gamma + 20}{4}$; $\delta_1 = -\frac{60\gamma}{h^4}$, $\delta_2 = -\frac{15(4 + \gamma)}{h^2}$

при граничных условиях

$$\frac{\partial B^{(0)}}{\partial n} + K_0 B^{(0)} \Big|_L = 0, \quad \frac{\partial T^{(2)}}{\partial n} + k_0 T^{(2)} \Big|_L = 0 \quad (49)$$

и начальных условиях $B^{(0)} = T_0 - \theta_L$, $T^{(2)} = 0$ $t = 0$. (50)

Видим, что в краевой задаче (48) — (50) граничные и начальные условия для функций $B^{(0)}$ и $T^{(2)}$ не связаны между собой, взаимосвязаны эти функции лишь в уравнениях системы (48).

Поэтому строим, как и выше, структурные формулы для этих функций. Поскольку вид граничных условий для функций $B^{(0)}$ и $T^{(2)}$ такой же, как и в краевом условии (18) для функции

$B^{(0)}$ в краевой задаче п. I, то и структурные формулы для них в данной задаче будут иметь такой же вид, а именно:

$$B^{(0)} = -\frac{\omega}{1+\omega} \left(\frac{\partial P_0}{\partial n} + K_0 P_0 \right) + P_0; \quad (51)$$

$$T^{(2)} = -\frac{\omega}{1+\omega} \left(\frac{\partial P_2}{\partial n} + K_0 P_2 \right) + P_2. \quad (52)$$

Пусть теперь функции $P_0 = P_0(m, t)$ и $P_2 = P_2(m, t)$ выбраны так, что

$$P_0(m, t) = \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(t) \varphi_j(m); \quad P_2(m, t) = \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(t) \varphi_j(m), \quad (53)$$

где $c_j^{(0)}(t)$ и $c_j^{(2)}(t)$, $j = 1, 2, \dots, m$ — пока неизвестные функции от t . $\{\varphi_j\}_1^m$ — некоторая полная в области Ω система функций.

Далее, поступая как и в п. I, подставляя функции (53) в соотношения (51), (52) и заменяя производные $d\varphi_j/dn$ оператором $-D_1\varphi_j$, найдем структурные формулы

$$B^{(0)} = \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(t) \psi_j(m); \quad T^{(2)} = \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(t) \psi_j(m), \quad (54)$$

где $\psi_j(m) = \varphi_j(m) - \frac{\omega}{1+\omega} (K_0 \varphi_j - D_1 \varphi_j)$ $j = 1, 2, \dots, m$.

Подставив структуры (54) в систему уравнений (48), получим

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(t) \Delta \psi_j(m) + \mu_1 \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(t) \psi_j(m) + \mu_2 \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(t) \psi_j(m) = \\ = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^m \frac{dc_j^{(0)}(t)}{dt} \psi_j(m); \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(t) \Delta \psi_j(m) + \delta_1 \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(t) \psi_j(m) + \delta_2 \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(t) \psi_j(m) = \\ = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^m \frac{dc_j^{(2)}(t)}{dt} \psi_j(m). \end{aligned}$$

Для отыскания функций $c_j^{(0)}(t)$ и $c_j^{(2)}(t)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) подчиним уравнения (55) условиям

$$\sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(\psi_i, \Delta \psi_j) + \mu_1 \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(\psi_i, \psi_j) +$$

$$\begin{aligned}
& + \mu_2 \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(\psi_i, \psi_j) - \frac{1}{a} \sum_{j=1}^m \frac{dc_j^{(0)}(t)}{dt}(\psi_i, \psi_j) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m); \\
& \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(\psi_i, \psi_j) + \delta_1 \sum_{j=1}^m c_j^{(0)}(\psi_i, \psi_j) + \\
& + \delta_2 \sum_{j=1}^m c_j^{(2)}(\psi_i, \psi_j) - \frac{1}{a} \sum_{j=1}^m \frac{dc_j^{(2)}}{dt}(\psi_i, \psi_j) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m).
\end{aligned} \tag{56}$$

Эту систему уравнений будем решать методом последовательных приближений следующим образом.

В качестве начального приближения функции $T^{(2)} T_0^{(2)}$ можно, очевидно, принять функцию $T^{(1)}$. Подставим ее в первое из уравнений системы (56) и приемом, описанным в п. I, найдем первое приближение для функции $T^{(0)}$, равное $T_1^{(0)}$. Подставив теперь $T_1^{(0)}$ во второе уравнение системы (56) вместо функции $T^{(0)}$, найдем первое приближение для функции $T^{(2)}$, равное $T_1^{(2)}$, и так далее, пока не будут получены удовлетворительные приближения для функций $T^{(0)}$ и $T^{(2)}$, равные $T_s^{(1)}$ и $T_s^{(2)}$.

Указанный итерационный процесс должен быть сходящимся, так как функционалы, входящие в систему (56), являются квадратичными и, следовательно, соответствующие им системы обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами оказываются линейными.

Поэтому, если решения указанных систем дифференциальных уравнений существуют, то они единственные. Существование же решений следует из физического смысла и корректности постановки краевой задачи.

В заключение заметим, что функции $\omega = \omega(m)$, которые входят в структурные формулы приведенных краевых задач, легко могут быть построены с помощью R -функций [2] или ΓL -функций [3].

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Рвачев В. Л., Мурашко А. Г. Математические модели зрения. — К.: Техніка, 1966. — 95 с. 2. Рвачев В. Л. Теория R -функций и некоторые ее приложения. — К.: Наук. думка, 1982. — 551 с. 3. Гончарюк И. В. О системах функций, удобных для аналитического описания разомкнутых линий и поверхностей. — Системы управления летательных аппаратов, 1981, вып. 6, с. 73—79.

Поступила в редколлегию 23.11.82.

ОБ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЛИНЕЙНО-ПОРОЖДЕННЫХ ПРЕДИКАТОВ НА ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ КОНУСЕ

Нами изучены экспериментально проверяемые условия, при выполнении которых произвольная динамическая система, заданная на положительном конусе и обследуемая методом нуля-органа [1], может быть математически описана системой интегралов со строго положительными ядрами. Такие динамические системы широко распространены в природе и технике. В подобной форме задача рассматривалась в работах [2, 3]. Однако в данной статье мы исключаем ноль как элемент положительного конуса, что ведет к некоторым принципиальным различиям в аксиоматике и в доказательстве. В целом же работа продолжает исследования, начатые в перечисленных выше статьях.

Обозначим через $L_2 [0, 1]$ пространство суммируемых с квадратом функций на отрезке $[0, 1]$ со стандартным скалярным произведением; через K — множество функций, принадлежащих $L_2 [0, 1]$, которые почти всюду строго больше нуля, и будем называть это множество положительным конусом.

Пусть предикат $T(x, y)$ задан на $K \times K$. Поставим задачу найти необходимые и достаточные условия, при выполнении которых предикат $T(x, y)$ представим в виде $T(x, y) = D \left(\int_0^1 x(t) \times$

$$\times e_1(t) dt, \dots, \int_0^1 x(t) e_n(t) dt; \int_0^1 y(t) e_1(t) dt, \dots, \int_0^1 y(t) e_n(t) dt \right), (1)$$

где D — предикат равенства на $R^n \times R^n$; $\{e_i(t)\}_{i=1}^n$ — линейно независимая система функций, принадлежащая K . Такие предикаты мы будем называть положительными n -мерными линейно-порожденными.

Нам понадобится следующая

Лемма. Пусть $\{\beta_i(x)\}_{i=1}^n$ — система линейно-независимых линейных функционалов, заданных на K и удовлетворяющих следующему свойству:

1) для любого $x \in K$ существует номер k такой, что $\beta_k(x) > 0$.

Тогда найдется невырожденная n -мерная матрица A , которая переводит данную систему в систему $\{\alpha_i(x)\}_{i=1}^n$, обладающую свойством $\alpha_i(x) > 0$ при любом i, x .

Доказательство. Нетрудно заметить, что для доказательства леммы необходимо просто показать, что в пересечении

* Здесь имеется в виду, что $\alpha_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \beta_j(x)$, где $A = (a_{ij})$.

линейной оболочки данной системы функционалов и положительного конуса найдутся n линейно независимых векторов. Это мы и сделаем.

Обозначим через $L=L(\beta_1, \dots, \beta_n)$ — линейную оболочку. Предположим $L \cap K = \emptyset$, тогда по теореме об отделимости выпуклых множеств в линейном пространстве [4] существует ненулевой линейный функционал $h(x)$ и число C такие, что $h(x) \geq C$ при $x \in K$ и $h(x) \leq C$ при $x \in L$. Причем C не может быть меньше нуля, иначе бы функционал $h(x)$ нельзя было ограничить снизу на положительном конусе. С другой стороны, так как любой линейный функционал на K может быть сколь угодно мал, то C не может быть и строго больше нуля. Значит $C=0$. Более того, $h(x) > 0$ при $x \in K$, поскольку при существовании $x_0 \in K$, для которого $h(x_0) = 0$, нашелся бы элемент $x_1 \in K$ такой, что $h(x_1) < 0$. В итоге получаем, что $h \in K$, и в то же время $\beta_i(h) \leq 0$ при любом i . Это противоречит условию леммы. Следовательно, $L \cap K \neq \emptyset$.

Возьмем элемент $e \in L \cap K$. Так как K — открытое множество, то e входит в K с какой-то окрестностью, и значит, для любого β_i существует $\varepsilon_i > 0$ такое, что $a_i = \varepsilon_i \beta_i + e \in K$. В силу линейной независимости системы $\{\beta_i\}_{i=1}^n$ можно подобрать ε_i такими, чтобы система $\{a_i\}_{i=1}^n$ тоже была линейно независима.

С другой стороны, $\{a_i\}_{i=1}^n \subset L \cap K$. Лемма доказана.

Сформулируем и докажем теорему об условиях существования положительных линейно-порожденных предикатов на положительном конусе.

Теорема 1. Для того, чтобы предикат $T(x, y)$, заданный на $K \times K$, был положительным линейно-порожденным, необходимо и достаточно, чтобы он был аддитивным, n -мерным, непрерывным и удовлетворял следующему свойству:

А) для любых $x, y, z \in K$ из равенства $T(x+z, y+z) = 1$ вытекает $T(x, y) = 1$.

Предикат $T(x, y)$ назовем *аддитивным*, если при любых $x, y, x', y' \in K$ и условиях $T(x, y) = T(x', y') = 1$ следует $T(x+x', y+y') = 1$, $T(x+y', y+x') = 1$; *n -мерным*, если существует система функций $\{a_i(t)\}_{i=1}^n \subset K$ таких, что для любого $x \in K$ найдется единственное собственное подмножество $I(x) \subset \{1, \dots, n\}$ и единственный набор чисел $\{a_i(x)\}_{i \in I(x)}$, для которых выполняется

$$T\left(x + \sum_{i \in I(x)} a_i(x) a_i, \sum_{i \in I(x)} a_i(x) a_i\right) = 1,$$

$\alpha_i(x) \geq 0$ при $i \in I(x)$ и $\alpha_i(x) > 0$ при $i \in \bar{I}(x)$; непрерывным, если существует точка $x_0 \in K$, в которой при любом i непрерывны $\beta_i(x)$, где

$$\beta_i(x) = \begin{cases} \alpha_i(x), & i \in \bar{I}(x) \\ -\alpha_i(x), & i \in I(x). \end{cases}$$

Доказательство. Необходимость. Пусть $T(x, y)$ определяется зависимостью (1), тогда простая проверка дает возможность убедиться в его аддитивности и в выполнении свойства А). Покажем, что он n -мерен и непрерывен.

Возьмем систему линейно-независимых векторов $\{e_i(t)\}_{i=1}^n \subset K$. Тогда для любого вектора $x \in K$ существует единственный набор чисел $\beta_i(x)$, удовлетворяющий системе уравнений

$$\int_0^1 x(t) e_k(t) dt = \sum_{i=1}^n \beta_i(x) \int_0^1 e_i(t) e_k(t) dt, \quad k = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Здесь мы использовали то, что $\{e_i(t)\}_{i=1}^n$ — линейно-независима и матрица системы (2), равная матрице Грамма, имеет детерминант, не равный 0. Причем, так как $x, \{e_i(t)\}_{i=1}^n \subset K$, то множество индексов, для которых $\beta_i(x) > 0$, не пусто. Поэтому каждому $x \in K$ можно сопоставить собственное собственное подмножество $I(x) \subset \{1, \dots, n\}$, $I(x) = \{i: \beta_i(x) \leq 0\}$ и единственный набор неотрицательных чисел

$$\alpha_i(x) = \begin{cases} \beta_i(x), & i \in \bar{I}(x); \\ -\beta_i(x), & i \in I(x), \end{cases}$$

для которых

$$\int_0^1 x(t) e_k(t) dt + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) \int_0^1 e_i(t) e_k(t) dt = \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) \int_0^1 e_i(t) e_k(t) dt, \\ k = \bar{1}, n,$$

$$\text{т. е. } T\left(x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) e_i\right) = 1,$$

$$\alpha_i(x) \geq 0, \quad i \in I(x) \quad \text{и} \quad \alpha_i(x) > 0, \quad i \in \bar{I}(x).$$

Функционалы $\beta_i(x)$ непрерывны в любой точке. Необходимость доказана.

Достаточность. Из n -мерности и аддитивности при произвольных $x, y \in K$ имеем

$$T\left(x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1; \quad (3)$$

$$T\left(y + \sum_{i \in I(y)} \alpha_i(y) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(y)} \alpha_i(y) a_i\right) = 1, \quad (4)$$

$$T\left(x + y + \sum_{i \in I(x) \cap I(y)} (\alpha_i(x) + \alpha_i(y)) a_i + \sum_{i \in I(x) \setminus I(y)} \alpha_i(x) a_i + \sum_{i \in I(y) \setminus I(x)} \alpha_i(y) a_i ;$$

$$\sum_{i \in \bar{I}(x) \cap \bar{I}(y)} (\alpha_i(x) + \alpha_i(y)) a_i + \sum_{i \in \bar{I}(x) \setminus \bar{I}(y)} \alpha_i(x) a_i + \sum_{i \in \bar{I}(y) \setminus \bar{I}(x)} \alpha_i(y) a_i\right) = 1, \quad (5)$$

где через $\bar{I}(x)$ мы обозначили $\{1, \dots, n\} \setminus I(x)$ и использовали равенство $I(x) \setminus I(y) = \bar{I}(y) \setminus \bar{I}(x)$.

Введем теперь следующие множества:

$$N_1 = \{i \in I(x) \setminus I(y) : \alpha_i(x) \geq \alpha_i(y)\};$$

$$N_2 = \{i \in I(x) \setminus I(y) : \alpha_i(x) < \alpha_i(y)\};$$

$$N_3 = \{i \in I(y) \setminus I(x) : \alpha_i(y) \geq \alpha_i(x)\};$$

$$N_4 = \{i \in I(y) \setminus I(x) : \alpha_i(y) < \alpha_i(x)\}$$

и воспользуемся свойством А). Тогда равенство (5) можно переписать в следующем виде:

$$T\left(x + y + \sum_{i \in I(x) \cap I(y)} (\alpha_i(x) + \alpha_i(y)) a_i + \sum_{i \in N_1} (\alpha_i(x) - \alpha_i(y)) a_i + \sum_{i \in N_2} (\alpha_i(y) - \alpha_i(x)) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x) \cap \bar{I}(y)} (\alpha_i(x) + \alpha_i(y)) a_i + \sum_{i \in N_3} (\alpha_i(y) - \alpha_i(x)) a_i + \sum_{i \in N_4} (\alpha_i(x) - \alpha_i(y)) a_i\right) = 1. \quad (6)$$

Заметим, что множества $I(x) \cap I(y)$, $\bar{I}(x) \cap \bar{I}(y)$, $\{N_i\}_{i=1}^4$ — непересекающиеся, и в объединении дают все множество индексов. В этом случае из n -мерности и равенства (6) вытекает

$$I(x+y) = (I(x) \cap I(y)) \cup N_1 \cup N_3,$$

$$\alpha_i(x+y) = \begin{cases} \alpha_i(x) + \alpha_i(y), & i \in I(x) \cap I(y) \\ \alpha_i(x) - \alpha_i(y), & i \in N_1 \\ \alpha_i(y) - \alpha_i(x), & i \in N_2 \\ \alpha_i(x) + \alpha_i(y), & i \in \bar{I}(x) \cap \bar{I}(y) \\ \alpha_i(x) - \alpha_i(y), & i \in N_4 \\ \alpha_i(y) - \alpha_i(x), & i \in N_3. \end{cases}$$

Положим $\beta_i(x) = \begin{cases} \alpha_i(x), & i \in \bar{I}(x) \\ -\alpha_i(x), & i \in I(x). \end{cases}$

Рассмотрим $\beta_i(x+y)$. Допустим $i \in I(x) \cap I(y)$, тогда $i \in I(x+y)$ и $\beta_i(x+y) = -\alpha_i(x+y) = -\alpha_i(x) - \alpha_i(y) = \beta_i(x) + \beta_i(y)$.

Пусть $i \in N_1$, тогда $i \in I(x+y)$ и $\beta_i(x+y) = -\alpha_i(x+y) = -\alpha_i(y) - \alpha_i(x) = \beta_i(x) + \beta_i(y)$, так как $i \in I(x) \setminus I(y)$ в силу определения N_1 и т. д. Рассмотрев все шесть случаев, легко убедиться, что при любом индексе i $\beta_i(x+y) = \beta_i(x) + \beta_i(y)$.

Докажем теперь одно вспомогательное

Утверждение. Если предикат $T(x, y)$ обладает перечисленными в теореме свойствами, то он рефлексивен, т. е. для любого $x \in K$ $T(x, x) = 1$; симметричен, т. е. для любых $x, y \in K$ равенства $T(x, y) = 1$ и $T(y, x) = 1$ эквивалентны; транзитивен, т. е. для любых $x, y, z \in K$ из равенств $T(x, y) = T(y, z) = 1$ следует $T(x, z) = 1$.

Действительно, для любого $x \in K$ из n -мерности и аддитивности вытекает

$$T\left(x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1;$$

$$T\left(x + \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) a_i, x + \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) a_i\right) = 1.$$

Учитывая свойство А), имеем $T(x, x) = 1$. Далее, если $T(x, y) = 1$ и из рефлексивности $T(y, y) = 1$, то по аддитивности и свойству А): $T(y+y, x+y) = 1$, $T(y, x) = 1$.

Теперь допустим $T(x, y) = 1$, $T(y, z) = 1$, тогда ясно, что $T(x+y, y+z) = 1$ и $T(x, z) = 1$. Утверждение доказано.

Пусть $T(x, y) = 1$. Используя свойства теоремы и доказанное утверждение, нетрудно убедиться в правильности следующей цепочки равенств:

$$T\left(x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1;$$

$$T\left(\sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1;$$

$$T\left(x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, y + \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1;$$

$$T\left(y + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) a_i, \sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) a_i\right) = 1.$$

Из единственности $I(x)$ и набора чисел $\{\alpha_i(x)\}_{i=1}^n$ имеем $I(x) = I(y)$ и $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$, что означает $\beta_i(x) = \beta_i(y)$, $i = 1, \dots, n$.

Эти рассуждения можно провести и в обратном порядке. В итоге $T(x, y) = D(\beta(x), \beta(y))$ (7), где $\beta(x) = (\beta_1(x), \dots, \beta_n(x))$, а D — предикат равенства на $R^n \times R^n$.

Раньше была доказана аддитивность функционалов $\beta_i(x)$ и по условию они еще непрерывны в точке x_0 , следовательно, это набор линейных функционалов в $L_2[0, 1]$ (так как их можно единственным образом продолжить с положительного конуса). Докажем их линейную независимость.

Пусть $\beta_n(x) = \lambda_1 \beta_1(x) + \dots + \lambda_{n-1} \beta_{n-1}(x)$. С другой стороны из рефлексивности и n -мерности следует

$$T(a_n, a_n) = 1; I(a_n) = \{1, \dots, n-1\}, \alpha_1(a_n) = \dots = \alpha_{n-1}(a_n) = 0; \alpha_n(a_n) = 1.$$

Значит, $\beta_n(a_n) = \alpha_n(a_n) = 1 = \lambda_1 \beta_1(a_n) + \dots + \lambda_{n-1} \beta_{n-1}(a_n) = -\lambda_1 \alpha_1(a_n) - \dots - \lambda_{n-1} \alpha_{n-1}(a_n) = 0$. Противоречие.

Следовательно, $\{\beta_i(x)\}_{i=1}^n$ — линейно независимая система функционалов и при этом из n -мерности вытекает, что для любого $x \in K$ существует i такое, что $\beta_i(x) > 0$. Отсюда по лемме найдется матрица A ($\det A \neq 0$), для которой $h(x) = A\beta(x)$ и $h(x) > 0$, $x \in K$. Это отображение взаимно-однозначное, поэтому $T(x, y) = D(\beta(x), \beta(y)) = D(A\beta(x), A\beta(y)) = D(h(x), h(y))$, где $h(x) = (h_1(x), \dots, h_n(x))$, $h_i(x) > 0$, $x \in K$, $i = 1, \dots, n$. Функ-

функции $h_i(x)$ — линейные с положительными ядрами, но это означает, что предикат $T(x, y)$ представим в виде (1). Теорема доказана.

Нижеследующая теорема свидетельствует о том, что система условий теоремы 1 несократима.

Теорема 2. *Условия аддитивности, n -мерности, непрерывности и свойство А) независимы.*

Чтобы доказать эту теорему, необходимо привести примеры предикатов, обладающих всеми перечисленными свойствами, кроме одного.

Доказательство.

I. Свойство А). Рассмотрим предикат

$$T(x, y) = D \left(\int_0^1 x(t) e_1(t) dt, \dots, \int_0^1 x(t) e_n(t) dt; \int_0^1 y(t) e_n(t) dt, \right. \\ \left. \int_0^1 y(t) e_2(t) dt, \dots, \int_0^1 y(t) e_{n-1}(t) dt, \int_0^1 y(t) e_1(t) dt \right),$$

где $\{e_i(t)\}_{i=1}^n \subset K$ — линейно независимая система и $\int_0^1 (e_1(t) - e_n(t)) dt \neq 0$. Тогда, если $T(x, y) = 1$, $T(x', y') = 1$, то

$$\int_0^1 x(t) e_1(t) dt = \int_0^1 y(t) e_n(t) dt, \quad \int_0^1 x(t) e_k(t) dt = \\ = \int_0^1 y(t) e_k(t) dt, \quad k = 2, \dots, n-1, \quad \int_0^1 x(t) e_n(t) dt = \\ = \int_0^1 y(t) e_1(t) dt, \quad \int_0^1 x'(t) e_1(t) dt = \int_0^1 y'(t) e_n(t) dt, \\ \int_0^1 x'(t) e_n(t) dt = \int_0^1 y'(t) e_1(t) dt, \quad \int_0^1 x'(t) e_k(t) dt = \\ = \int_0^1 y'(t) e_k(t) dt, \quad k = 2, \dots, n-1.$$

Отсюда

$$\int_0^1 (x(t) + x'(t)) e_1(t) dt = \int_0^1 (y(t) + y'(t)) e_n(t) dt;$$

$$\int_0^1 (x(t) + x'(t)) e_n(t) dt = \int_0^1 (y(t) + y'(t)) e_1(t) dt;$$

$$\int_0^1 (x(t) + x'(t)) e_k(t) dt = \int_0^1 (y(t) + y'(t)) e_k(t) dt, \quad k = 2, \dots, n-1,$$

$n-1$, т. е. $T(x + x', y + y') = 1$. С другой стороны,

$$\int_0^1 (x(t) + y'(t)) e_1(t) dt = \int_0^1 (y(t) + x'(t)) e_n(t) dt,$$

$$\int_0^1 (x(t) + y'(t)) e_n(t) dt = \int_0^1 (y(t) + x'(t)) e_1(t) dt;$$

$$\int_0^1 (x(t) + y'(t)) e_k(t) dt = \int_0^1 (y(t) + x'(t)) e_k(t) dt, \quad k = 2, \dots, n-1,$$

т. е. $T(x + y', y + x') = 1$. Таким образом, $T(x, y)$ обладает аддитивностью. В справедливости для этого предиката n -мерности и непрерывности можно убедиться тем же путем, как и при доказательстве необходимости в теореме 1.

Пусть $c_1, c_2 = \text{const} > 0$ такие, что $T(c_1, c_2) = 1$, а $0 < \lambda < \min(c_1, c_2)$. Положим $x = c_1 - \lambda$, $y = c_2 - \lambda$, $z = \lambda$. Тогда $T(x + z, y + z) = 1$, однако

$$\int_0^1 x(t) e_1(t) dt - \int_0^1 y(t) e_n(t) dt = \lambda \int_0^1 (e_n(t) - e_1(t)) dt \neq 0,$$

т. е. $T(x, y) = 0$. Значит свойство А) не выполняется.

II. Аддитивность. Положим

$$T(x, y) = D \left(\int_0^1 x(t) e_1(t) dt + 1, \dots, \int_0^1 x(t) e_n(t) dt; \right. \\ \left. \int_0^1 y(t) e_1(t) dt, \dots, \int_0^1 y(t) e_n(t) dt \right).$$

Этот предикат не аддитивен, так как если

$$\begin{aligned} \int_0^1 x(t) e_1(t) dt + 1 &= \int_0^1 y(t) e_1(t) dt, \quad \int_0^1 x'(t) e_1(t) dt + 1 = \\ &= \int_0^1 y'(t) e_1(t) dt, \quad \text{то} \quad \int_0^1 (x(t) + x'(t)) e_1(t) dt + 1 = \\ &= \int_0^1 (y(t) + y'(t)) e_1(t) dt - 1. \end{aligned}$$

С другой стороны, справедливость остальных свойств очевидна.

III. n -мерность. Допустим $T(x, y) \equiv 1$. Этот предикат не n -мерен, однако все остальные свойства выполняются.

IV. Непрерывность. В $L_2[0, 1]$ существуют аддитивные, но разрывные функционалы. Если производить разбиение на классы эквивалентности с их помощью, то ясно можно построить предикат, не обладающий непрерывностью, но удовлетворяющий остальным свойствам. Теорема доказана.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Применение метода нуля-органа в психофизике. — Пробл. бионики, 1978, вып. 21, с. 25—30. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Математические модели зрения. — К.: Техника, 1966. — 95 с. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Аксиоматическое построение модели цветного зрения. — Пробл. бионики, 1970, вып. 4, с. 20—23. 4. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функции и функционального анализа. — М.: Наука, 1972. — 140 с.

Поступила в редколлегию 13.05.82.

УДК 681.34

Н. И. СЕНЧЕНКО, канд. техн. наук,
Г. В. КОСМАЧЕВСКИЙ, С. Ф. ТАНЯНСКИЙ

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ

В настоящее время большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом уделяется применению моделей в спортивной практике. Основными направлениями применения метода моделирования в спорте являются: изучение техники спортивных движений; тестирование физической работоспособности; изучение физиологических и биомеханических систем и отдельных их элементов в организме спортсмена; прогнозирование спортивных достижений.

В качестве технических средств моделирования используются аналоговые (АВМ) и цифровые вычислительные машины (ЦВМ).

В последнее время значительное развитие и распространение получили гибридные вычислительные системы (ГВС), которые сочетают достоинства обоих классов машин и эффективно используются в научных и инженерных исследованиях для моделирования динамических систем.

Перспективным является применение ГВС и для моделирования процесса подготовки спортсменов. Это связано с тем, что

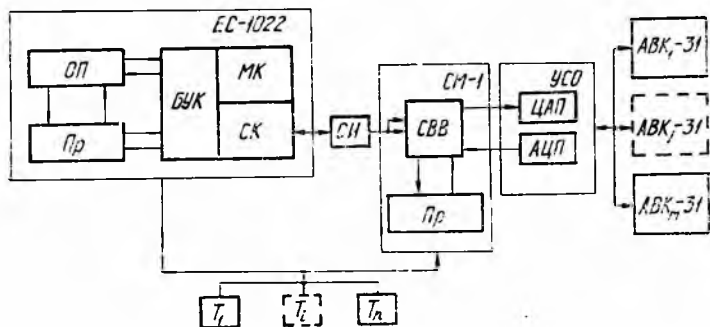


Рис. 1

обработке подлежит информация, представляемая в виде непрерывного сигнала или последовательности стандартных импульсов, что позволяет вводить данные в ГВС непосредственно с экспериментальной установки.

Рассмотрим структуру и программное обеспечение двухуровневой экспериментальной ГВС и ее применение для гибридного моделирования процесса подготовки спортсменов.

1. Структура двухуровневой ГВС. В одноуровневых ГВС, содержащих АВМ и ЦВМ, неэффективно используется цифровая часть. Для устранения этих недостатков были предложены двухуровневые ГВС, в которых для управления АВМ используются мини-ЭВМ или управляющая машина.

ГВС, разработанная с участием авторов, содержит аналоговые процессоры АВК-31, от 1 до 16 штук, управляющую машину SM-1, ЦВМ ЕС-1022 и ряд терминальных устройств (рис. 1). Связь между процессорами осуществляется через селективный канал ЕС ЭВМ и согласователь интерфейсов (СИ) А711-1/6, предусмотренный в составе модулей SM-1. СИ обеспечивает обмен информацией между двумя процессорами, согласовывая их разные интерфейсные выходы. Применение двух процессоров позволит в значительной степени повысить производительность цифровой части, а также расширить возможности моделирования.

Функции цифровой части ГВС распределяются следующим образом. Базовый процессор (БП) ЭВМ СМ-1, соединенный с аналоговой частью через быстродействующие каналы ввода-вывода гибридной информации, осуществляет управление режимами работы АВК-31 и обменом информацией между СМ-1 и АВК-31. На стадии подготовки к решению гибридных задач БП используется для автоматической коммутации аналоговой части задачи, установки коэффициентов. Кроме того, БП обеспечивает организацию общения пользователя с ГВС в режиме диалога, диагностику всех АВК-31 и системы связи. Центральный процессор (ЦП) ЕС-1022 выполняет автоматическую подготовку задач к решению, общее управление вычислительным процессом, обработку цифровой и аналоговой информации в соответствии с алгоритмом решения задачи, операции диалога, анализ и регистрацию результатов, контроль, диагностику и тестирование всей системы. Связь БП с АВК-31 осуществляется через систему ввода—вывода (СВВ) ЭВМ СМ-1 и устройство связи с объектом (УСО). УСО представляет собой модуль, состоящий из цифро-аналоговых (ЦАП) и аналого-цифровых (АЦП) преобразователей, предусмотренных в составе модулей ЭВМ СМ-1.

В качестве терминальных устройств (T_1, \dots, T_n) используются дисплеи ЕС-7066 или автоматизированные рабочие места экспериментаторов (АРМ). В состав АРМ входит устройство связи с физиологическим объектом модульной структуры, а также устройство записи и отображения информации. АРМ через СМ-1 связывается с ЭВМ ЕС-1022, что позволяет исследователю производить обработку полученных результатов и цифровое, аналоговое или гибридное моделирование.

Анализ существующих приборов экспериментальной физиологии, психологии и спортивной медицины показывает, что выходная информация при исследовании физиологических и биомеханических систем может быть представлена в виде последовательности стандартных импульсов непосредственно с экспериментальной установки; данных, записанных на магнитной ленте, перфокартах, перфоленте; графиков на бумажной, фотобумажной ленте или на фотопленке.

Для ввода последовательности стандартных импульсов используется устройство связи с объектом ЭВМ СМ-1, в которое входят следующие модули: регистры запросов, таймеры, счетчики, генераторы слов, модули согласования уровней входных сигналов.

При вводе графиков применяются автоматические устройства кодирования визуальных графических данных типа «График», «Старт» [1].

Структура экспериментальной ГВС разработана таким образом, чтобы ее функциональные подсистемы могли использоваться

автономно, что позволяет легко перестраивать и наращивать структуру всей системы.

2. Программное обеспечение ГВС. Программное обеспечение ГВС, предназначенной для моделирования процесса подготовки спортсменов, включает: гибридную операционную систему; пакет программ, обеспечивающий сбор, накопление и предварительную обработку данных; программы статистического анализа данных и создания моделей сложных физиологических и биомеханических систем; пакет прикладных программ для моделирования на ЭВМ аналоговых систем и непрерывных процессов (ПМНП); аналоговый компилятор на базе входного языка пакета ПМНП; программы статистической обработки аналоговой информации.

Гибридная операционная система (ГОС) представляет собой специализированную операционную систему ЭВМ СМ-1. В состав ГОС входят: гибридный монитор; программы взаимодействия с ЭВМ ЕС-1022; функциональные программы; обработчик аналоговых прерываний; гибридный диалоговый отладчик.

Гибридный монитор осуществляет управление модулями ГОС, вызывает соответствующий модуль и передает ему управление.

Программы взаимодействия обеспечивают прием и передачу данных ЭВМ ЕС-1022. При этом некоторые данные, например, коммутационный аналоговый файл или файл статистического контроля обычно переписываются на мини-диск, а затем интерпретируются функциональными программами. Функциональные программы осуществляют взаимодействие с решающими и логическими элементами аналоговой части. Основная функция обработчика прерываний ГОС — передача управления в подпрограмму пользователя по запланированным и асинхронным прерываниям.

Гибридный диалоговый отладчик является необходимой составной частью ГОС в связи с тем, что при отладке гибридных программ осуществляют проверку различных компонентов программного и аппаратного оборудования, особенно устройств взаимодействия СМ-1 и АВК-31.

Пакет программ сбора, накопления и предварительной обработки данных обеспечивает съем информации с различных датчиков, обработку плохих измерений, корректировку исходных данных. Так, физиологическая информация о цикле дыхания спортсмена характеризуется возрастанием функции, достижением некоторого максимума и убыванием. Для выделения циклов дыхания необходимо находить их локальные экстремумы, для чего по временной оси указывается интервал, содержащий только одну точку, в которой цикл дыхания достигает максимума. В циклах дыхания определяются следующие показатели [2]: период дыхания \bar{t} ; левый полупериод t_1 и левая площадь S_1 , характеризующие активный вдох; амплитуду a — глубину

вдоха; левый угол U_1 — интенсивность вдоха; правый угол U_2 — интенсивность выдоха.

После корректировки каждый показатель проходит предварительную статистическую обработку для проверки статистической неоднородности.

Для решения статистических задач на аналоговой части ГВС осуществляется экспресс-анализ, результаты которого переда-

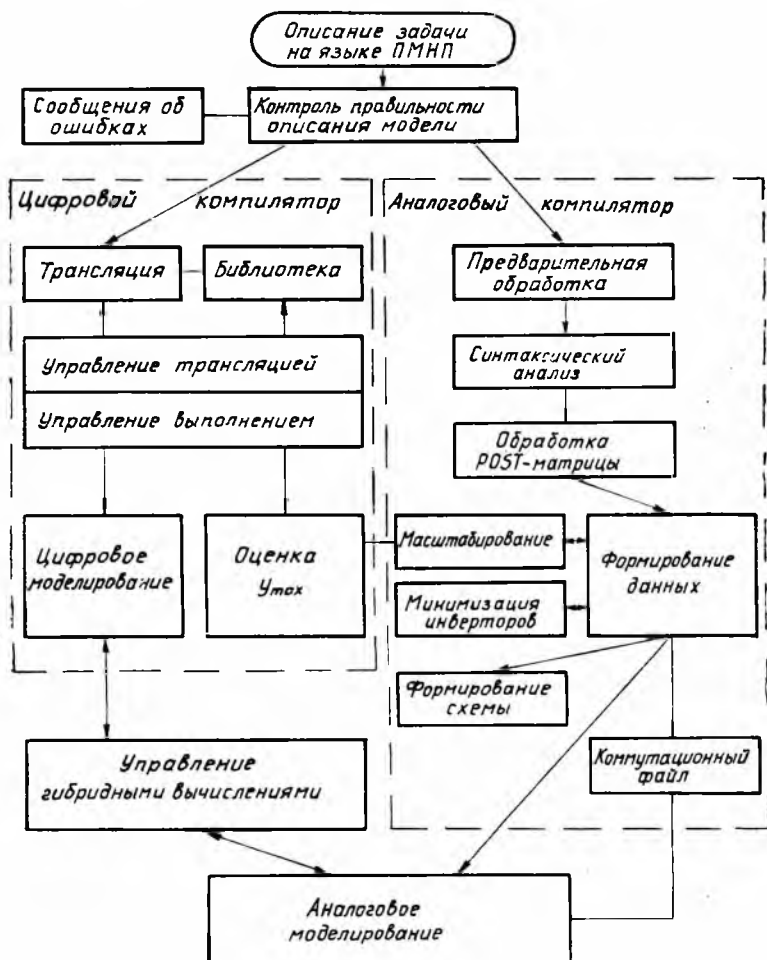


Рис. 2

ются в ЭВМ ЕС-1022 для формирования сложных критериев статистического анализа согласно принятой стратегии.

Многие модели в физиологических и биомеханических исследованиях приводят к необходимости решать системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Для этих целей в состав программного обеспечения входит пакет ПМИП, позволяющий легко и просто моделировать на ЦВМ сложные явления непосредственно по блок-схеме или по системе ОДУ [3].

На базе входного языка пакета ПМНП был построен аналоговый компилятор, обеспечивающий подготовку системы ОДУ к моделированию на АВК-31. Рассмотрим более подробно принципы построения компилирующей системы (КС) (рис. 2). Опишем назначение отдельных блоков и некоторые особенности их реализации.

Описание модели на языке пакета ПМНП включает три сегмента: инициализации, динамики и терминации. Сегмент инициализации предназначен для вычисления начальных условий и параметров, выраженных через первичные параметры и константы. Если эти вычисления не нужны, сегмент не включается в модель.

Сегмент динамики включает полное описание моделируемой системы, представленное в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Этот сегмент всегда включается в описание модели.

Сегмент терминации применяется для вычислений, производимых после моделирования, например, для перерасчета параметров с дальнейшим повторением моделирования.

Для определения границы сегментов используются операторы INITIAL, DYNAMIC, TERMINAL и END следующим образом:



Синтаксически правильное описание поступает в блок предварительной обработки, в котором производится замена отдельных макроописаний в эквивалентную «INTGRL» форму. Например, макроописание аperiodического звена $P^*Y + Y = X$ имеет вид $Y = \text{REALPL}(IC, P, X)$. Эквивалентная «INTGRL» форма записывается в виде $Y = \text{INTGRL}(IC, (X - Y)/P)$. Аналогично

заменяются и другие макроописания. Такая замена позволяет в дальнейшем осуществлять простой переход к реализации этих макроописаний на АВК-31.

В исходном описании модели встречаются комплексные операторы, которые не могут быть реализованы одним блоком АВК-31. Такие операторы должны быть разделены на эквивалентную последовательность подоператоров, имеющих однозначное соответствие с аналоговыми вычислительными блоками (ВБ). Эта замена производится на этапе синтаксического анализа. Входной информацией для данной процедуры является исходная программа из сегмента динамики, который просматривается слева направо. Выходом из процедуры является так называемая POST-матрица, представляющая последовательность операторов вида $P_i = \Theta N$ и $P_i = N \Theta N$, где Θ , соответственно, унарный или бинарный оператор.

Например, для выражения $Y = \text{SINE}(K, L + M, N + P) * (Z + X)$ POST-матрица имеет вид:

$$\begin{bmatrix} T1 & + & L & M \\ T2 & + & N & P \\ T3 & , & T1 & T2 \\ T4 & , & K & T3 \\ T5 & \text{SINE} & T4 & \emptyset \\ T6 & + & Z & X \\ Y & * & T5 & T6 \end{bmatrix}$$

Следует отметить, что при дальнейшей обработке POST-матрицы возникают определенные трудности, так как не все элементы матрицы соответствуют операционным блокам АВК. Были сформулированы правила, по которым специальная распознающая процедура осуществляет преобразование POST-матрицы для того, чтобы каждый оператор соответствовал аналоговому ВБ.

После завершения синтаксического анализа и обработки POST-матрицы операторы запоминаются и производится масштабирование переменных. Для оценки экстремальных значений переменных в пакете ПМНП имеется специальная программа, с помощью которой достаточно просто и быстро можно получить минимальные и максимальные значения переменных исходной модели.

Выходом аналогового компилятора является коммутационный файл, представляющий собой описание структурной схемы на языке внутренней интерпретации, графическая структурная схема и данные для задания начальных условий и передаточных коэффициентов.

Алгоритм управления гибридными вычислениями использует методы работы [4], позволяющие осуществлять гибридное моделирование с высокой точностью.

Существенным элементом для широкого применения системы является предоставление возможности физиологу-исследователю пользоваться системой в простой и привычной для него форме. Это требование обеспечивается пакетом программ ввода—вывода, позволяющим представлять выходную информацию в виде графиков на устройствах печати, дисплее и графопостроителе типа ЕС-7064.

Список литературы: 1. *Обработка* графической информации на ЭВМ/А. И. Петренко, В. Г. Абакумов, А. А. Будняк и др. — К.: Техніка, 1974. — 144 с. 2. *Левченко Е. П., Сидоренко Т. С.* Некоторые вопросы обработки физиологических данных. — В кн.: *Вычислительная математика, программирование и обработка эксперимента.* К.: Наук. думка, 1979, с. 81—96. 3. *ЕС ЭВМ.* Пакет прикладных программ для моделирования на ЭВМ аналоговых систем и непрерывных процессов. Общее описание. ПРО.309.006Д. 1977. — 34 с. 4. *Пухов Г. Е., Кулик М. Н.* Гибридное моделирование в энергетике. — К.: Наук. думка, 1977. — 150 с.

Поступила в редколлегию 05.07.82.

УДК 62.506.2

Е. А. ГОЛОВИНА, К. Н. КОЛМЫЧЕК, В. Я. ТЕРЗИАН

ПРИНЦИПЫ ПРОВЕРКИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ПРАВИЛЬНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОЯЗЫКОВЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

Анализ противоречивости естественных языковых высказываний. В естественных языковых системах в процессе анализа входные утверждения преобразуются к виду, позволяющему связать их со знаниями системы, или, другими словами, осуществляется понимание входных утверждений. В процессе такого преобразования может возникнуть противоречие между входными утверждениями и знаниями системы. Факт такого противоречия означает, что входное утверждение является неправильным (недопустимым) относительно знаний системы.

В диалоговой естественной языковой системе ДЕСТА [1] существуют два основных режима работы с системой: режим обучения и режим работы с пользователем. При работе в первом режиме система каждое входное утверждение считает заведомо правильным и заносит его в базу знаний. В режиме работы с пользователем система «с недоверием» относится к каждому входному утверждению и заносит его в базу знаний только в случае, если оно не противоречит ее знаниям.

Всякое входное утверждение представляется на внутреннем языке системы (*R*-представление [1]) в виде набора синтаксико-семантических отношений (ССО) и семантических отношений

(СМНО) [1]. Отсюда вытекает существование двух типов противоречий: 1) противоречие в ССО; 2) противоречие в СМНО. Рассмотрим эти типы противоречий.

Противоречия в ССО возникают при несоответствии ССО входного утверждения по различным элементам ССО из базы знаний.

ССО в системе ДЕСТА в общем виде выглядит следующим образом: $B, A, C (HE, \bigcirc, D, D, E, E, X) = (HE, \bigcirc, D, D, E, E, X)$, где B — имя ССО; A — местоимение; C — предлог; HE — отрицание; \bigcirc — нормализованная словоформа; D — приставка; E — суффикс; X — предметная переменная.

Например факт: Петя не написал сочинение в классе — на языке R -представлений запишется в виде: $M1$: кто, он (не, писать, на) = (Петя); $M2$: что — делать (Петя) = (не, писать, на); $M3$: что — в (не, писать, на) = (сочинение); $M4$: где, в(не, писать, на) = (класс), где $M1, M2, M3, M4$ — метки ССО.

Возможны следующие виды противоречий в ССО:

1. Противоречия по предлогам. Они возникают в случае, если предлог в ССО данного предложения не совпадает с предлогом из соответствующего ССО базы знаний. Например, два ССО: где, на (лежать) = (стол); где, в(лежать) = (стол) являются противоречивыми.

2. Противоречия по отрицанию «не». Они возникают в случае, когда ССО базы знаний и ССО входного предложения различаются только наличием в одном из них частицы «не» и отсутствием этой частицы на соответствующем месте в другом ССО. Например, два ССО: кто, он (не, читать) = (Петя); кто, он(читать) = (Петя) являются противоречивыми.

3. Противоречия по словоформе. Здесь возможны два вида противоречий: а) противоречия по СМНО «противоположно» [1]. Они возникают, когда ССО базы знаний и ССО из входного утверждения отличаются парой словоформ, стоящих на соответственных местах, и словоформы этой пары связаны в базе знаний отношением «противоположно». Например, пара ССО: как (бежать) = (быстро); как (бежать) = (медленно) является противоречивой, так как противоположно (быстро) = (медленно); б) противоречия по классу. Они возникают, когда ССО базы знаний и ССО из входного утверждения отличаются парой словоформ, стоящих на соответственных местах, и словоформы этой пары являются элементами одного и того же класса. Например, пара ССО: какой (шар) = (голубой); какой (шар) = (красный) является противоречивой парой, а пара: какой (Петя) = (белокурый), какой (Петя) = (голубоглазый) не является противоречивой, так как элемент (цвет волос) = (белокурый), элемент (цвет глаз) = (голубоглазый).

4. Противоречия по приставке. Они возникают, если ССО базы знаний и ССО из входного утверждения отличаются приставками у соответствующих словоформ. В случае, если

приставки выражают одно и то же, противоречие не возникает. Например, пара ССО: что — делать (Петя) = (ехать, у); что — делать (Петя) = (ехать, при) является противоречивой, а пара: что — делать (Петя) = (ехать, до); что — делать (Петя) = (ехать, при) не является противоречивой.

5. Противоречия между словоформами данного ССО. Они возникают в том случае, если, согласно знаниям системы, объединение данной пары словоформ в некоторое ССО является недопустимым. Например, если системе известно: Снег может быть только белым, то ССО: какой (снег) = (красный) является противоречивым. Этот пример следует отличать от примера из случая 3(б). Если там входное ССО: какой (шар) = (красный) само по себе не является противоречивым, а входит в противоречие с ССО из базы знаний. Здесь же ССО является противоречивым само по себе.

Противоречия в СМНО возникают в случае несоответствия синтаксической структуры и смысла входных утверждений соответствующим СМНО базы знаний. Рассмотрим следующие виды таких противоречий.

Противоречия по СМНО «валентность» глагола [1]. Такие противоречия возникают в случае, когда морфолого-синтаксическая информация словоформ [1] входного утверждения не соответствует валентности глагола, выражающего действие во входном утверждении. Например, если системе известно, что валентность глагола «подарить»: {кто, кому, что — в}, то входное утверждение: «Петя подарил школе коллекцию марок» будет воспринято системой как противоречивое, поскольку словоформа «школе» отвечает на вопрос «чему» и не соответствует валентности.

Противоречия по СМНО «условие» [1]. Такие противоречия возникают в случае, когда для действия, о котором говорится во входном утверждении, не выполняются некоторые необходимые условия, заданные в СМНО «условие» данного действия.

Противоречия по СМНО «время». Они возникают в случае, когда абсолютное время реализации некоторой пары событий входит в противоречие с их относительной последовательностью. Например, следующий абстрактный текст: Ф1 раньше, чем Ф2. Ф1 в 1981 году. Ф2 в 1980 году, где Ф1, Ф2 — метки некоторых фактов, является противоречивым.

Все рассмотренные противоречия обнаруживаются в процессе вывода специальными процедурами, управляемыми соответствующими метапроцедурами.

Этапы семантического анализа естественных языковых выражений. Семантический анализ естественных языковых выражений (ЕЯВ) искусственной системой предназначен для их понимания, т. е. для установления связи некоторого входного ЕЯВ со знаниями системы. В процессе такого анализа устанавливается

возможное несоответствие, а иногда и противоречие между входными ЕЯВ и базой знаний [2].

В диалоговой естественной языковой системе ДЕСТА семантический анализ входных ЕЯВ проходит ряд последовательных этапов, соответствующих его различным уровням. При этом система переходит к более высокому уровню семантического анализа только в случае, если конкретная задача не может быть решена на более низком уровне. Существуют три уровня семантического анализа в системе ДЕСТА: 1) морфологический уровень семантического анализа; 2) синтаксический уровень семантического анализа; 3) семантический уровень семантического анализа. Рассмотрим на примерах работу подсистемы семантического анализа на этих трех уровнях.

1. На морфологическом уровне семантического анализа проверяется соответствие морфолого-синтаксической информации (МСИ) словоформ входного предложения валентности [1] глагола, выражающего действие из входного предложения. В режиме обучения каждое входное предложение принимается на веру. Поэтому валентность глаголов считается верной, и предложение сразу после второго просмотра и составления ССО записывается в С-структуру [1].

В режиме работы с пользователем проверка валентности начинается сразу же после второго морфологического просмотра [1], т. е. до составления ССО. Это позволяет значительно сократить время в случае обнаружения ошибки. В базе знаний валентность глагола уже сформировалась (может быть еще не полно) в режиме обучения. Необходимо учесть, что валентность глаголов с различными приставками разная. Например: Петя переплыл реку — валентность словоформы «переплыть» {кто, он; что — в}, Петя заплыл за дерево — валентность глагола «заплыть» — {кто, он; что, за}. Поэтому при проверке соответствия МСИ словоформ входного предложения валентности глагола необходимо приставку рассматривать как элемент, влияющий на валентность глагола.

С другой стороны, можно выделить три случая, возникающие при проверке валентности:

валентность глагола во входном предложении правильная, набор МСИ словоформ входного предложения в точности совпадает или является подмножеством валентности этого глагола с той же приставкой из базы знаний.

Валентность противоречива. Это может произойти, если а) соответствующие имена ССО из валентности и из МСИ словоформ входного предложения противоположны (типа: кто — что, кому — чему и т. п.); б) в соответствующих элементах валентности и МСИ имена ССО одинаковые, а местоимения разные или предлоги противоположны (типа: где, над и где, под; кто, он и кто, она). Но при этом надо учитывать, что могут

быть случаи, когда оба элемента таких пар входят в валентность. Тогда входное предложение правильно.

В остальных случаях мы только лишь можем сказать, что данный набор МСИ и валентность не соответствуют друг другу.

Рассмотрим алгоритм проверки валентности.

Ввод МСИ всех словоформ входного предложения.

Из этого набора МСИ отбрасываются те, которые соответствуют классам вопросов: что — делать и какой (так как словоформы с такими МСИ всегда не принадлежат валентности глагола).

После второго просмотра образуется массив, в котором каждой словоформе поставлены в соответствие абсолютный адрес словоформы в С-структуре, абсолютные адреса элементов МСИ и признак. По этому признаку отыскиваем глагол входного предложения.

Находим пересечение элементов строк, номерами которых являются абсолютный адрес словоформы и приставки. Тем самым мы выделяем те ССО, которые содержат данный глагол с приставкой.

Определяем факт пересечения полученного набора ССО с элементами строк, номерами которых являются абсолютные номера элементов МСИ для каждой словоформы в отдельности. Причем проверка проводится вначале по всем именам ССО, затем по местоимениям и лишь после этого по предлогам. Обработка полученных результатов проводится в соответствии с рассмотренными выше случаями. Здесь несоответствие возможно по всем трем компонентам МСИ: по вопросу, по местоимению, по предлогу. Рассмотрим примеры.

Пусть знания системы заданы следующим ЕЯВ: Петя подарил Маше книгу. МСИ для словоформ данного ЕЯВ будет соответственно: Петя {он, кто}; подарил {что — сделал}; Маше {она, кому}; книга {она, что — в}. Отсюда валентность глагола «дарить» — {он, кто; она, кому; она, что — в}. Пусть на вход системы поступит ЕЯВ: Петя подарил школе коллекцию. Сравнивая теперь МСИ для словоформ из данного ЕЯВ с валентностью глагола «дарить», обнаруживаем несоответствие по вопросу, так как МСИ «школе» — {она, чему}, а в валентности — {она, кому}.

Пусть знания системы те же, а на вход поступит ЕЯВ: Лена подарила Маше цветы. Здесь несоответствие по местоимению, так как МСИ «Лена» — {она, кто}, а в валентности — {он, кто; в} пусть знания системы заданы следующим ЕЯВ: Книга лежит на столе. МСИ для словоформ данного ЕЯВ будет соответственно: «книга» {она, что}; «лежит» {что — делает}; «стол» {он, где, на}. Отсюда валентность глагола «лежать» — {она, что; он, где, на}. Теперь входное утверждение: «Книга лежит в столе» не будет соответствовать валентности глагола «лежать» по предлогу.

2. Семантический анализ на синтаксическом уровне имеет место при составлении синтаксико-семантических отношений (ССО).

Пусть входное ЕЯВ будет: Петя читает книгу. МСИ для словоформ данного ЕЯВ соответственно: Петя {он, кто}; читает {что — делает}; книгу {она, что — в}. После нормализации [1] словоформ начинается формирование ССО. Сначала, используя МСИ, система делает заготовки для ССО: кто, он (X1) = (Петя); что — делать (X2) = (читать); что — в (X3) = (книга). Поиск соответствующих словоформ для X1, X2, X3 осуществляется по специальным правилам [1] и для данного примера приводит к однозначному конечному результату: M1: кто, он (читать) = (Петя); M2: что — делать (Петя) = (читать); что — в (читать) = (книга), где M1, M2, M3 — метки ССО. В случае многозначного решения вопроса о составлении ССО приходится переходить к следующему — семантическому уровню семантического анализа. Например, для ЕЯВ: «Заведующий лабораторией кивнул головой» мы не можем на синтаксическом уровне сказать, какую из словоформ: «заведующий» или «кивнуть» надо поставить на место X1 и X2 в заголовках для ССО данного примера: чем (X1) = (голова); чем (X2) = (лаборатория).

3. На семантическом уровне семантического анализа осуществляется проверка различных семантических отношений. Здесь проверяются такие СМНО, как условие, цель, назначение, зремя [1] и др.

Входное ЕЯВ будет семантически правильным, если между ним и фактами базы знаний в процессе анализа не возникли противоречия в приведенных СМНО [2].

Рассмотрим подробнее процесс анализа семантического отношения «условие». В режиме обучения в систему ДЕСТА заносятся необходимые и достаточные условия выполнения действий. Первые представляют собой минимальный набор условий, необходимых для того, чтобы некоторое действие могло иметь место. Например: Чтобы рубить, необходимо иметь чем рубить и иметь что рубить. Вторые представляют собой минимальный набор условий, достаточных для того, чтобы действие могло завершиться. Например: Чтобы срубить, достаточно рубить, иметь силу и время.

Для записи СМНО «условие» предусмотрена конструкция: условие (факт) = (список фактов).

Например, условием факта Ф1: «Петя подарил Маше цветы» является то, что Ф2: «У Пети есть цветы» и Ф3: «У Маши день рождения». Конструкция для условия будет выглядеть следующим образом: условие (Ф1) = (Ф1&Ф3).

В случае, если факт имеет сложную конструкцию или дополняется в ходе работы системы, список фактов, стоящий в правой части, пополняется и имеет более сложную конструкцию: условие (факт) = $(\bigvee_i (\bigwedge_j (\Phi_{ij})))$

Например, условием того, что Ф4: Петя имеет магнитофонные записи, является Ф5: Петя смотрел телевизор, Ф6: Петя записал на магнитофон песни, или Ф7: Петя взял магнитофонные записи у товарища, или Ф8: у Пети был день рождения, Ф9: Пете подарили хорошие песни. Тогда имеем: условие (Ф4) = (Ф5&Ф6∨Ф7∨Ф8&Ф9).

В естественных языковых высказываниях система ДЕСТА распознает семантическое отношение «условие» по конструкции «чтобы..., необходимо...».

Важным свойством для СМНО «условие» является транзитивность. Если для факта Ф1 условием является Ф2, а для Ф2 является Ф3, то Ф3 также является условием для Ф1. Из этого свойства в режиме умозаключения вытекает, что, если выполняется Ф1, то все его условия тоже выполняются, т. е. выполняются Ф2 и Ф3.

Для каждого входного высказывания процесс анализа СМНО «условие» состоит в следующем: система выясняет, выполняются ли на данный момент времени необходимые условия выполнения действия, о котором идет речь во входном предложении.

Остановимся непосредственно на алгоритме анализа семантического отношения «условие». После первого морфологического просмотра [1] анализируемого предложения каждой словоформе ставится в соответствие морфолого-синтаксическая информация, содержащая вопрос, на который отвечает данная словоформа. Это позволяет системе найти словоформу, обозначающую действие во входном предложении. Далее, в С-структуре система находит все множество (F1) словосочетаний, фактов, ситуаций, в которые входит данное действие и для которых существует семантическое отношение «условие», а также (F2) фактов, являющихся непосредственно условиями для элементов из F1. Затем система берет первый элемент из F1 и из слов входного предложения пытается составить, разрешая предметные переменные, синтактико-семантические отношения этого элемента. Так, путем перебора последовательно всех элементов из F1 находится тот из них, для которого данное соответствие устанавливается по всем ССО. Для данного элемента система находит соответствующие элементы из F2 при помощи семантического отношения «условие». Для них, используя значения предметных переменных, составляются ССО. Далее, факты, представленные этими ССО, в качестве общих вопросов поступают в подсистему синтеза ответа на вопрос. В случае утвердительного ответа на все поставленные вопросы условие действия считается выполненным и система переходит к формированию оставшихся ССО. Если же получен отрицательный ответ на один или несколько вопросов, то соответствующие условия считаются невыполненными и система сообщает об этом пользователю, указывая, какие именно условия не выполнены. И, на-

конец, при неопределенном ответе на некоторые вопросы система, используя элементы из F_2 , задает пользователю соответствующие вопросы о выполнении недостающих условий.

Рассмотрим работу алгоритма на конкретном примере. Пусть системе известно: Чтобы читать, необходимо уметь читать и иметь что читать. Петя умеет читать. Петя не имеет книгу. На языке ССО и СМНО это будет выглядеть следующим образом: M_1 : кто (читать) = (X1); M_2 : что — делать (X1) = (читать); M_3 : что — в (читать) = (X2); $\Phi_1 = M_1 \& M_2 \& M_3$; M_4 : кто (уметь) = (X1); M_5 : что — делать (уметь) = (читать); M_6 : что — делать (X1) = (уметь); $\Phi_2 = M_4 \& M_5 \& M_6$; M_7 : кто (иметь) = (X1); M_8 : что — делать (X1) = (иметь); M_9 : что — в (иметь) = (X2); $\Phi_3 = M_7 \& M_8 \& M_9$; условие $(\Phi_1) = (\Phi_2 \& \Phi_3)$; M_{10} : кто, он (уметь) = (Петя); M_{11} : что — делать (Петя) = (уметь); $\Phi_4 = M_{10} \& M_5 \& M_{11}$; M_{12} : кто, он (иметь, не) = (Петя); M_{13} : что — делать (Петя) = (иметь, не); M_{14} : что — в (иметь, не) = (книга); $\Phi_5 = M_{12} \& M_{13} \& M_{14}$.

Пусть теперь на вход системы поступит следующее утверждение: Белокурый Петя читает интересную книгу товарищам в классе. После первого просмотра имеем: Белокурый (какой): Петя (кто, он); читает (что — делает); интересную (какую); книгу (что — в); товарищам (кому, они); класс (где, в). По вопросу «что делает» система находит действие «читает». По данному действию в S -структуре система находит множество $F_1 = \{\Phi_1\}$ и ему соответствующее множество $F_2 = \{\Phi_2, \Phi_3\}$. Далее система пытается из слов входного предложения составить ССО факта Φ_1 , разрешив предметные переменные соответственно: $X_1 = \text{Петя}$; $X_2 = \text{книга}$. Получаются следующие ССО входного предложения: кто, он (читать) = (Петя); что — делать (Петя) = (читать); что — в (читать) = (книга). Поскольку каждому ССО факта Φ_1 находится соответствующее ССО во входном предложении, то система из множества F_2 берет факты Φ_2 и Φ_3 , являющиеся условием факта Φ_1 . Подставляя в ССО этих фактов значение разрешенных предметных переменных, получаем два набора ССО: {кто (уметь) = (Петя), что — делать (уметь) = (читать), что — делать (Петя) = (уметь)} и {кто (иметь) = (Петя), что — делать (Петя) = (иметь), что — в (иметь) = (книга)}, которые поступают в подсистему синтеза ответа на вопрос. Первый набор ССО целиком содержится в базе знаний (факт Φ_4), следовательно, на него дается утвердительный ответ. Второй набор ССО противоречит знаниям системы (факту Φ_5) по частице «не», следовательно, на него дается отрицательный ответ, т. е. условие «Петя имеет книгу» считается невыполненным. Система выдает пользователю факт базы знаний Φ_5 («Петя не имеет книгу»), вступивший в противоречие с входным предложением.

Далее необходимо остановиться на других семантических отношениях как на следствиях СМНО «условие».

Двойственным по отношению к СМНО «условие» является СМНО «результат». Оно указывает, какие могут быть результаты после выполнения некоторого действия [3].

Это семантическое отношение не является транзитивным, так как при выполнении данного факта мы не можем сказать, что выполняется и его результат, потому что для результата необходимо еще проверить и те факты, которые являются его условием. Таким образом, можно сказать, что СМНО «результат» только дает понятие о возможных последствиях действия. То есть, чтобы подвигаться в направлении «результат», необходимо подключить СМНО «условие» в режиме проверки семантической правильности и далее, если условия выполняются, можно принимать результат как завершенное действие.

В системе ДЕСТА СМНО «условие» и «результат» образуют структуру фактов, по которой в одном направлении можно двигаться с помощью СМНО «условие», в другом — с помощью СМНО «результат».

Непосредственно с семантическим отношением «результат» связано семантическое отношение «цель». Это СМНО так же осуществляет продвижение по структуре фактов подобно СМНО «результат», но «результат» связывает только непосредственно рядом стоящие в структуре факты, а «цель» связывает факты, стоящие друг от друга на несколько уровней. Это СМНО указывает, посредством каких «результатов» может быть достигнут тот или иной факт.

Эти основные семантические отношения для фактов, реализованные в системе ДЕСТА, являются важным инструментом проверки семантической правильности ЕЯВ и вывода умозаключений.

Список литературы: 1. *Ловицкий В. А.* Диалоговая естественная языковая система принятия решений. — Х.: Изд-во политех. ин-та, 1981. — 110 с. 2. *Ловицкий В. А., Терзиян В. Я.* Семантический анализ в системе ДЕСТА. — В кн.: Интерактивные системы: Докл. и тез. докл. третьей школы-семинара. Тбилиси, 1980, с. 80—83. 3. *Терзиян В. Я.* Анализ, семантическая нормализация и идентификация естественных языковых текстов. — В кн.: Интерактивные системы: Тез. докл. и сообщ. четвертой школы-семинара. Тбилиси, 1982, с. 219—221.

Поступила в редколлегию 17.11.82.

УДК 62.506.2

Г. Ф. КРИВУЛЯ, канд. техн. наук, *Е. В. БАБКИН*

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОНЕФРОГРАММ

Развитие науки и техники вооружило современную медицину новейшими методами исследований. Но в то же время обработка результатов исследований представляет собой довольно тру-

доемкую задачу. Одной из актуальных задач радиоизотопной диагностики является на основе применения ЭВМ повышение эффективности использования тех методов исследования, которые в силу простоты и безопасности уже получили широкое распространение в клинической практике. К таким методам относится радионейфрoграфия с меченым гиппураном [1]. Метод прост, однако имеется несоответствие простоты метода и трудоемкости анализа радионейфрoграмм (т. е. функции активности от времени). Упрощение же анализа путем сведения его к расчету минимального числа линейных параметров кривой (например, T_{\max} , $T_{1/2}$ и т. п.) делает диагностическое заключение неопределенным. Поэтому возникает задача проведения на ЭВМ анализа и интерпретации первичной диагностической информации. Такой подход ускоряет принятие правильного клинического решения по результатам радиоизотопного динамического исследования.

Нами поставлена цель разработать и апробировать систему дифференциальной диагностики состояний почек по функциональным кривым — радионейфрoграммам.

Так как функциональные кривые представляют собой зависимость вида активность — время и являются аналоговыми, то для обработки на ЦВМ необходимо преобразовать их из аналогового вида в цифровой. В настоящее время существует множество методов преобразования — спектральный анализ, преобразование Фурье, выявление скрытых периодичностей, амплитудно-временное преобразование, замена исходного сигнала ломаными, экспонентами и т. д. Все эти методы отличаются относительной сложностью их использования для преобразования сигналов.

Выбор нами метода цифрового нелинейного преобразования сигнала (ЦНПС) обусловлен такими его преимуществами, как помехозащищенность от высокочастотной составляющей шума сигнала, экономия памяти ЦВМ, простота самого преобразования и дальнейшей обработки преобразованного сигнала [2].

Пусть аналоговый сигнал задан в двумерном пространстве как функция активности от времени $y=f(t)$. Суть преобразования заключается в отображении площади, заключенной под кривой сигнала, в двоичную последовательность единичных импульсов, частота которых изменяется как функция площади.

Если в каждый текущий момент времени t_i будет формироваться выходной импульсный сигнал, то исходный аналоговый сигнал $y=f(t)$ можно представить импульсной последовательностью

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \delta(t - t_i),$$

где

$$\delta(t - t_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq t_i, \\ 1 & \text{при } t = t_i. \end{cases}$$

Таким образом, расстояние $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ между двумя соседними импульсами соответствует приращению аналогового сигнала по оси абсцисс, и очередной импульс возникает в момент времени, когда выполняется условие

$$\left| \int_t^{t+\Delta t} (t) dt \right| \geq \Delta S.$$

Рассмотрим применение ЦНПС для распознавания кривых. При этом исходный сигнал будем преобразовывать не в последовательность 0 и 1, а в двумерное пространство признаков $(\tau, \Delta\tau)$, где τ — количество квантов времени между соседними единичными импульсами, а $\Delta\tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$. При таком преобразовании сигнала в совокупности точек пространства $(\tau, \Delta\tau)$ в общем случае теряется возможность восстановить исходный сигнал, но это несущественно, так как целью преобразования является классификация сигналов.

При создании данной системы дифференциальной диагностики в качестве признаков выбрана не сама последовательность точек пространства $(\tau, \Delta\tau)$, а ее усредненные значения $\tau_{\text{ср}}$ и $\Delta\tau_{\text{ср}}$:

$$\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \tau_i \quad \text{и} \quad \Delta\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i,$$

где n — число единичных импульсов сигнала.

Чтобы частично компенсировать ошибку, вносимую такой заменой, для описания преобразуемой кривой введен коэффициент кривизны

$$k_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i^2 - n\Delta\tau_{\text{ср}}^2.$$

Анализ показал, что вносимая ошибка при формировании пространства признаков несущественна в сравнении с ошибками измерения активности и вариабельности кривых.

В данной системе диагностика осуществляется на основе анализа трех кривых: кривой клиренса крови; кривой правой почки; кривой левой почки.

Кривая клиренса крови является монотонно убывающей функцией. Кривые же правой и левой почек, в общем случае являются функциями с экстремумом, и для них можно выделить участки возрастания и убывания.

Таким образом, исходные три кривые мы разбиваем на пять участков: 1 — кривая импульса; 2 — восходящий участок II кривой; 3 — нисходящий II кривой; 4 — восходящий III кривой; 5 — нисходящий III кривой.

Каждый из этих участков характеризуется параметрами $\tau_{\text{ср}}$, $\Delta\tau_{\text{ср}}$ и $k_{\text{кр}}$. Если кривая правой или левой почки не имею

экстремума, значит, у них отсутствует либо восходящий, либо нисходящий участок кривой. Параметры, характеризующие отсутствующий участок, принимаем равными 0.

В результате преобразования исходных кривых получаем точку в пятнадцатимерном пространстве признаков.

При проектировании системы диагностирования были приняты во внимание следующие исходные условия: 1) коэффициенты усиления кривых произвольны, но для кривых обеих почек этот коэффициент одинаков, т. е.

$$f_{ij}(t) = k_{ij} \varphi_{ij}(t) \quad (i = 1, 2), \quad k_{i1} \neq k_{i2} = k_{i3} \quad (j = 1, 2, 3),$$

где φ_{ij} — значение сигнала до усиления; 2) количество точек, которыми задается каждая кривая ≤ 120 (время регистрации кривой ≤ 40 мин при суммировании импульсов за 20-секундные интервалы); 3) в сигнале присутствует фон; 4) кривые имеют для каждого случая свой фазовый сдвиг.

Эти условия требуют предварительного преобразования сигнала (ППС), которые осуществляются по следующему алгоритму.

1. Чтение служебной информации (номер случая, фамилия больного, дата получения радионейрограммы и т. д.).
2. Чтение информации о количестве точек, которыми задана каждая из трех кривых.
3. Считывание точек, задающих кривые.
4. Выделение постоянной составляющей фона и вычитание ее.
5. Нормировка кривых.
6. Расчет промежуточных точек. Так как кривые регистрируются суммацией точек за относительно большие промежутки времени (20 с), то кривые представляются сравнительно небольшим числом точек. Чтобы избежать искажения формы кривых при ЦНПС, рассчитывают промежуточные точки, лежащие на прямых и соединяющие две последовательно расположенные исходные точки.

Разработанная система распознавания состоит из трех основных программ и ряда сервисных. Данная система является системой распознавания, обучаемой с учителем. Обучение происходит с использованием обучающей выборки и с указанием, к какому классу относится каждый случай. Обучение системы осуществляется двумя программами: FORMIR и SIGMA.

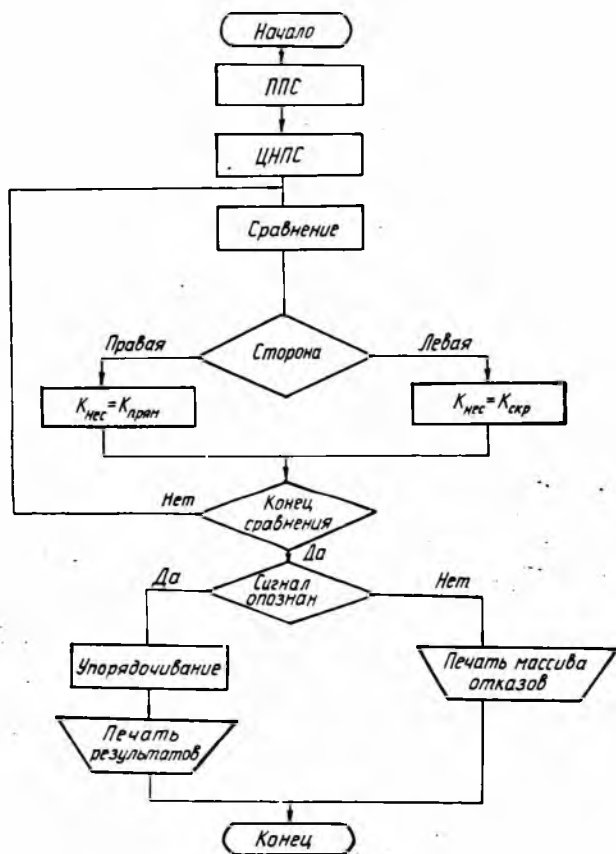
Программа FORMIR обеспечивает создание эталонов каждого класса. Алгоритм состоит из следующих этапов.

1. Чтение номера класса.
2. ППС.
3. ЦНПС.
4. Если заболевание принадлежит к классу односторонних заболеваний, то перейти к следующему пункту, в противном случае — к пункту 6.
5. Если заболевание правостороннее, то перейти к следующему пункту, в противном случае — к пункту 7.
6. Информация о данном случае дополняет классы эталонов. Так как очередной шаг формирования эталона выполнен, то переход к следующему пункту не осуществляется.
7. Информация о данном сигнале

добавляется к эталону скрестно. Очередной шаг формирования эталона выполнен.

Для односторонних заболеваний почек формируются не эталоны правой и левой почек, а эталоны здоровой и больной почек. Это позволяет уменьшить количество эталонов классов и лучше использовать обучающий верифицированный материал.

Для случаев одностороннего поражения почек эталон второй (правой почки) является эталоном пораженной почки, а третьей (левой почки) — эталоном здоровой почки.



Распознавание осуществляется вычислением геометрического расстояния в пространстве признаков между анализируемым сигналом и эталонами. Эти расстояния назовем коэффициентами несовпадения ($k_{нес}$). Программа SIGMA обеспечивает вычисление предельных коэффициентов несовпадения для каждого из классов на основании обучающей выборки. Значение предель

ных коэффициентов несовпадения храним совместно с эталонами.

В результате обработки обучающей последовательности программами FORMIR и SIGMA сформированы эталоны классов и предельные значения коэффициентов несовпадения. Программа ДОКТОР на основании этой информации производит диагностику анализируемых радионепрограмм. Диагностика осуществляется по следующему алгоритму (рисунок):

1. ППС. 2. ЦНПС. 3. Вычисление для данного эталона коэффициентов несовпадения прямого (вторую кривую сигнала сравниваем со второй кривой эталона, третью — с третьей) и скрестного (вторую кривую сигнала сравниваем с третьей кривой эталона, и наоборот). 4. Определяем сторону поражения. Если $k_{\text{нес. прямой}} \leq k_{\text{нес. скрестной}}$, то поражена правая почка, в противном случае — левая. Определение стороны производится только при сравнении с эталонами классов одностороннего поражения почек. Для случая двустороннего поражения выбирается меньший из коэффициентов несовпадения. 5. Сравнивается $k_{\text{нес}}$ с предельным коэффициентом несовпадения. Если $k_{\text{нес.}} \leq k_{\text{нес. пред.}}$, то информация о классе, стороне и $k_{\text{нес}}$ заносится в массив результатов. Иначе — в массив отказов. 6. Проверяем, со всеми ли эталонами сравнили анализируемый сигнал. Если нет — возвращаемся к пункту 3 и повторяем сравнение со следующим эталоном. Если да — переходим к следующему пункту. 7. Проверяем, был ли сигнал опознан хотя бы одним эталоном. Если да, то упорядочиваем массив результатов по возрастанию $k_{\text{нес}}$ и печатаем результаты распознавания. Если нет, то распечатывается массив отказов, где хранится информация о сравнении анализируемого сигнала со всеми эталонами.

Полученные материалы по применению разработанной системы дифференциальной диагностики радионепрограмм показали его высокую эффективность. При испытаниях системы на контрольной выборке в 58,4% случаев диагноз признан испытанным, в 34,0% — неопределенным и в 7,6% — ложным. Затраты машинного времени для диагностирования одного случая составили в среднем 3 с для ЕС-1033.

Список литературы: 1. *Диагностическая модель почки*/Г. Ф. Кривуля, Н. И. Пилипенко, Л. К. Штец и др. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 53—60. 2. А. С. № 830521 (СССР). Устройство для распознавания речевых сигналов/Г. Ф. Кривуля, С. Л. Кирьяков. — Опубл. в Б. И., 1981, № 18, с. 40.

Поступила в редколлегию 24.12.82.

Н. Я. КАКУРИН, канд. техн. наук, Ю. К. КИРЬЯКОВ,
С. В. КУРГУЗИКОВА, И. Г. ПОЧТОВАЯ

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МИНИМИЗАЦИИ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ В МИКРОПРОГРАММНЫХ АВТОМАТАХ

Известно, что микропрограммные автоматы с жесткой логикой реализуются на основе логических и триггерных схем, объединяемых в логическую структуру в соответствии с заданным законом функционирования [1]. Основной проблемой синтеза структуры синхронного микропрограммного автомата является кодирование внутренних состояний. От выбранного варианта кодирования зависят такие характеристики автомата, как сложность реализации, устойчивость работы, надежность и др. Выбор рационального варианта кодирования внутренних состояний с учетом даже одной характеристики автомата осложняется значительным ростом количества вариантов кодирования в функции от числа состояний. Например, для автомата с N внутренними состояниями и избыточным кодированием существует

$$2^{\lceil \log_2 N \rceil} / (2^{\lfloor \log_2 N \rfloor} - N)! (\lceil \log_2 N \rceil)!$$

различных способов кодирования внутренних состояний.

При проектировании микропрограммных автоматов широкое распространение получил эвристический алгоритм кодирования внутренних состояний [2], минимизирующий суммарное число изменений состояний элементов памяти на всех переходах автомата. Применение этого алгоритма кодирования обеспечивает получение экономичной схемы автомата при использовании в запоминающей части триггеров T , JK , RS , S , R , E и RST типов.

В результате использования эвристического алгоритма кодирования достигается минимальное значение коэффициента качества кодирования K , вычисляемого по формуле

$$K = \sum_{l=1}^{l=L} U_l / L,$$

где U_l — число отметок сигналов возбуждения в строке l структурной таблицы автомата; L — максимальное число строк [3]. Таким образом, коэффициент K имеет смысл среднего числа отметок сигналов возбуждения, приходящихся на одну строку таблицы переходов. Минимальное возможное значение числа отметок U_l сигналов возбуждения для строки с исходным состоянием a_i и состоянием перехода a_j равно единице, так как коды $K(a_i)$ и $K(a_j)$ могут различаться как минимум в одном разряде, максимальное — равно числу разрядов кода n . Экспе-

риментально получены значения K в пределах 1,2—2,1 для автоматов различной сложности с числом внутренних состояний $N=10 \div 128$. При соседнем кодировании (отличие кодов в одном разряде), полученном для всех строк структурной таблицы с $a_i \neq a_j$, коэффициент качества кодирования равен единице.

Анализ матриц переходов триггеров некоторых типов [4] и учет особенностей этих матриц при кодировании внутренних состояний автоматов показал, что для них возможно получение

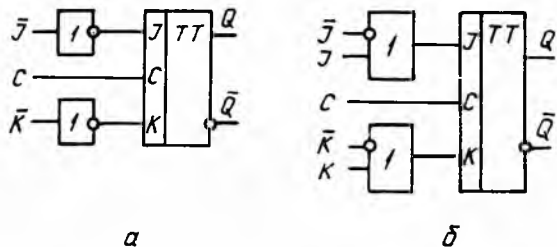


Рис. 1

коэффициента качества кодирования $K < 1$. К таким триггерам относятся триггера с инверсными входами \overline{IK} (а) и \overline{IKIK} (б) типов, реализация которых на основе IK триггера с прямыми входами показана на рис. 1.

Сравним матрицы переходов RS триггера с матрицами переходов \overline{IK} и \overline{IKIK} триггеров:

$$\begin{array}{c|c} R & S \\ \hline 0-0 & b_1 \ 0 \\ 0-1 & 0 \ 1 \ (1), \\ 1-0 & 1 \ 0 \\ 1-1 & 0 \ b_2 \end{array} \quad \begin{array}{c|c} \overline{K} & \overline{I} \\ \hline 0-0 & b_1 \ 1 \\ 0-1 & b_2 \ 0 \\ 1-0 & 0 \ b_3 \\ 1-1 & 1 \ b_4 \end{array} \quad (2),$$

$$\begin{array}{c|c|c|c} \overline{K} & \overline{I} & K & I \\ \hline 0-0 & b_1 & 1 & b_2 & 0 \\ 0-1 & b_1 & b_2 & b_3 & b_3 \vee b_4 \\ 1-0 & b_1 & b_2 & b_1 \vee b_3 & b_4 \\ 1-1 & 1 & b_1 & 0 & b_2 \end{array} \quad (3)$$

Следует отметить, что значения неопределенных коэффициентов b_i и b_j одной строки в общем случае являются зависимыми, в то время как значения коэффициентов b_i разных строк и одного столбца матрицы (3) можно выбрать независимо друг от друга.

Отметка сигналов возбуждения в структурной таблице автомата производится для тех входов триггера, которым в матрице переходов соответствует единичное значение. По этой причине, следуя критерию минимума аппаратных затрат, целе-

сообразно выбрать такие значения зависимых коэффициентов b_i и b_j каждой строки, чтобы суммарное число единиц в строке после доопределения было минимальным. Например, для RS триггера можно принять $b_1=b_2=0$. Тогда следует формировать сигналы возбуждения и производить их отметку в структурной таблице только в случае изменения состояния элемента памяти RS типа на противоположное.

Таким образом, эвристический алгоритм кодирования внутренних состояний, минимизирующий суммарное число изменений состояний элементов памяти, обеспечивает и минимизацию числа отметок сигналов возбуждения, т. е. упрощение комбинационной части автомата.

Иная ситуация имеет место в случае применения в качестве элементов памяти триггеров \overline{IK} и \overline{IKIK} типов. Произведя наиболее выгодное доопределение, получим следующие функции входов RS , \overline{IK} и \overline{IKIK} триггеров:

$$\begin{array}{ccc}
 R & S & \overline{K} \overline{I} \\
 \hline
 0-0 & 0 & 0 \\
 0-1 & 0 & 1 \\
 1-0 & 1 & 0 \\
 1-0 & 0 & 0
 \end{array}
 \quad (4)
 \quad
 \begin{array}{ccc}
 \overline{K} \overline{I} & I & K \\
 \hline
 0-0 & 0 & 1 \\
 0-1 & 0 & 0 \\
 1-0 & 0 & 0 \\
 1-1 & 1 & 0
 \end{array}
 \quad (5)
 \quad
 \begin{array}{ccc}
 \overline{K} \overline{I} & I & K \\
 \hline
 0-0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0-1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1-0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1-1 & 1 & 0 & 0 & 0
 \end{array}
 \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует, что сигналы возбуждения \overline{I} и \overline{K} необходимо формировать только на переходах 0—0 и 1—1, соответствующих условиям сохранения состояний триггеров. Следовательно, для кодирования исходного состояния a_{i_g} и состояния перехода a_{i_f} предпочтительными будут такие пары кодовых комбинаций K_{i_g} и K_{i_f} , у которых число различающихся разрядов максимально. Максимизация числа изменений состояний элементов памяти с инверсными входами позволит уменьшить суммарное число отметок сигналов возбуждения и упростить комбинационную часть автомата. Последнее обстоятельство указывает на необходимость использования иного критерия для выбора свободного кода и на необходимость построения алгоритма кодирования, учитывающего особенности доопределенных матриц переходов триггеров с инверсными входами.

Алгоритм кодирования внутренних состояний микропрограммных автоматов, рассчитанный на максимизацию суммарного числа изменений состояний элементов памяти с инверсными входами на всех переходах автомата, состоит из следующих этапов.

1. Строим матрицу

$$T = \begin{array}{ccc|c}
 \alpha_1 & \beta_1 & & p_1 \\
 \alpha_2 & \beta_2 & & p_2 \\
 \dots & \dots & & \dots \\
 \alpha_r & \beta_r & & p_r \\
 \dots & \dots & & \dots \\
 \alpha_R & \beta_R & & p_R
 \end{array}$$

Каждая из строк матрицы T означает, что в автомате имеется переход из состояния a_{α_r} в состояние a_{β_r} .

2. Упорядочиваем строки матрицы T , для чего образуем матрицу M следующим образом. В первую строку матрицы M помещаем строку $(\alpha_{i1}, \beta_{i1})$ с наибольшим весом $p(\alpha_{i1}, \beta_{i1})$. Из всех оставшихся строк матрицы T , имеющих общий компонент с парой $(\alpha_{i1}, \beta_{i1})$, выбирается пара $(\alpha_{i2}, \beta_{i2})$ с наибольшим весом p_{i2} и заносится во вторую строку матрицы M и т. д. Процесс упорядочивания строк продолжается до тех пор, пока все пары матрицы T не будут перенесены в матрицу M . Легко видеть, что для матрицы M всегда выполняется условие зацепления

$$\{(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_{r-1}, \beta_{r-1})\} \cap \{(\alpha_r, \beta_r)\} \neq \emptyset \quad (r = 2, 3, \dots, z)$$

и по возможности условие упорядочения весов строк $p_1 > p_2 > \dots > p_r > \dots > p_R$.

3. Состояния из первой строки матрицы M кодируем следующим образом:

$$K_{\alpha_{i1}} = 00 \dots 00; \quad K_{\beta_{i1}} = 11 \dots 11.$$

4. Вычеркиваем из матрицы M первую строку, соответствующую закодированным состояниям a_{α_1} и a_{β_1} . В результате получаем матрицу M' .

5. Выбираем из первой строки матрицы M' незакодированный элемент и обозначаем его через γ .

6. Строим матрицу M_γ , выбрав из M' строки, содержащие γ .

Пусть $B_\gamma = \{\gamma_1, \dots, \gamma_f, \dots, \gamma_F\}$ — множество элементов из матрицы M_γ , которые уже закодированы. Их ходы обозначим через $K_{\gamma_1}, \dots, K_{\gamma_f}, \dots, K_{\gamma_F}$.

7. Для каждого K_{γ_f} ($f = \overline{1, F}$) найдем $C_{\gamma_f}^n$ — множество кодов, у которых расстояние Хемминга по отношению к коду K_{γ_f} равно n , и еще не занятых для кодирования состояний автомата. Построим множество $D_\gamma^n = \bigcup_{f=1}^F C_{\gamma_f}^n$. Если $D_\gamma^n = \emptyset$, то

построим новое множество $D_\gamma^{n-1} = \bigcup_{f=1}^F C_{\gamma_f}^{n-1}$, где $C_{\gamma_f}^{n-1}$ — множество кодов, у которых кодовое расстояние до кода K_{γ_f} равно $(n-1)$. Если и $D_\gamma^{n-1} = \emptyset$, то аналогичным образом находим $D_\gamma^{n-2}, \dots, D_\gamma^k$ до тех пор, пока не найдется $D_\gamma^k \neq \emptyset$ ($k = n, n-1, \dots, 2, 1$). Пусть $D_\gamma^k = \{K_{\delta_1}, \dots, K_{\delta_g}, \dots, K_{\delta_G}\}$.

8. Для каждого K_{δ_g} найдем $d(\delta_g, \gamma_f)$ — кодовое расстояние между K_{δ_g} и всеми использованными кодами K_{γ_f} ($f = \overline{1, F}$).

9. Найдем взвешенную сумму кодовых расстояний

$$W_g = \sum_{\delta_g \gamma_f \in \Gamma(S)} p(\delta_g, \gamma_f) d(\delta_g, \gamma_f) \quad (g = \bar{1}, \bar{G}).$$

10. Из множества D_1^* выбираем код K_γ , у которого $W_g = \max W_g$. Элемент γ (состояние a_γ) кодируем кодом K_γ .

11. Из матрицы M' вычеркиваем строки, у которых оба элемента закодированы. Новую матрицу также обозначим через M' . Если в матрице M' не осталось ни одной строки, переходим к п. 12, иначе — к п. 5.

12. Вычисляем коэффициент качества кодирования

$$K = \frac{\sum_{\delta_g, \gamma_f \in \Gamma(S)} p(\delta_g, \gamma_f) d'(\delta_g, \gamma_f)}{\sum_{\delta_g, \gamma_f \in \Gamma(S)} p(\delta_g, \gamma_f)}, \quad (7)$$

где $d'(\delta_g, \gamma_f) = \sum_{l=1}^n d_{pk}^l$ — расстояние между кодовыми комбинациями K_{δ_g} и K_{γ_f} в метрике триггера данного типа; d_{pk} — значение компоненты вектор-строки на переходе pk ; l — номер разряда в кодовой комбинации. Вектор-строка для триггеров $\bar{1}K$ и $\bar{1}KIK$ $d_{pk} = (d_{00}, d_{01}, d_{10}, d_{11}) = (1, 0, 0, 1)$.
Переходим к п. 13.

13. Конец.

h	a_m	$K(a_m)$	a_s	$K(a_s)$	$X(a_m a_s)$	$Y(a_m a_s)$	$F(a_m, a_s)$
1	a_1	000	a_2	001	$z \ x_1$	—	$\bar{1} \bar{1} \bar{2}$
2			a_3	111	$z \ x_1 \ x_2$		$\bar{1} \bar{2}$
3			a_4	110			$\bar{1} \bar{3}$
4	a_2	001	a_3	111	\bar{x}_2	y_1	\bar{K}_3
5			a_4	110	x_2		—
6	a_2	111	a_5	101	x_1	y_2	$\bar{K}_1 \bar{K}_3$
7			a_6	010	$\bar{x}_1 \ x_3$		\bar{K}_2
8			a_1	000	$\bar{x}_1 \ x_3$		—
9	a_4	110	a_5	101	\bar{x}_1	y_3	\bar{K}_1
10			a_6	010	$x_1 \ x_3$		$\bar{K}_2 \bar{1} \bar{3}$
11			a_1	000	$\bar{x}_1 \ x_3$		$\bar{1} \bar{3}$
12	a_5	101	a_6	010	x_2	y_1	—
13			a_1	000	x_2		$\bar{1} \bar{2}$
14	a_6	010	a_1	000	—	y_4	$\bar{1} \bar{1} \bar{3}$

Рассмотрим пример кодирования внутренних состояний автомата Мура, заданного прямой структурной таблицей (табл. 1) и реализованного на триггерах с инверсными входами \overline{JK} типа. Из прямой структурной таблицы автомата, заменяя переходы (1,3) и (3,1), а также (1,4) и (4,1) переходом одного типа (1,3) и (1,4), но с суммарным весом, равным сумме весов исходных строк, получаем вначале матрицу T , а после упорядочения строк — матрицу M

$$T = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 1 & 3 & 2 \\ \hline 1 & 4 & 2 \\ \hline 2 & 3 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 1 \\ \hline 3 & 5 & 1 \\ \hline 3 & 6 & 1; \\ \hline 4 & 5 & 1 \\ \hline 4 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 1 & 1 \\ \hline 6 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad M = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 3 & 2 \\ \hline 1 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 3 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 1 \\ \hline 3 & 5 & 1 \\ \hline 3 & 6 & 1. \\ \hline 4 & 5 & 1 \\ \hline 4 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 1 & 1 \\ \hline 6 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Этап 1.

$$K_1 = 000; \quad K_3 = 111;$$

$$M' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 3 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 1 \\ \hline 3 & 5 & 1 \\ \hline 3 & 6 & 1 \\ \hline 4 & 5 & 1; \\ \hline 4 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 1 & 1 \\ \hline 6 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \gamma = 4; \quad M_4 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 2 \\ \hline 2 & 4 & 1 \\ \hline 4 & 5 & 1 \\ \hline 4 & 6 & 1 \\ \hline \end{array} \quad B_4 = \{1\}.$$

$$C_1^n \approx \emptyset; \quad C_1^{n-1} = \{110, 101, 011\}.$$

$$W_{210} = 2 \left| \begin{array}{c} 110 \\ 000 \end{array} \right| = 2(1 + 1 + 0) = 4; \quad W_{101} = 2 \left| \begin{array}{c} 101 \\ 000 \end{array} \right| = 2(1 + 0 + 1) = 4;$$

$$W_{011} = 2 \left| \begin{array}{c} 011 \\ 000 \end{array} \right| = 2(0 + 1 + 1) = 4;$$

Выбираем $K_4 = 110$.

Этап 2.

$$M' = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 3 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 1 \\ \hline 3 & 5 & 1 \\ \hline 3 & 6 & 1. \\ \hline 4 & 5 & 1; \\ \hline 4 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 6 & 1 \\ \hline 5 & 1 & 1 \\ \hline 6 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \gamma = 2. \quad M_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 3 & 1. \\ \hline 2 & 4 & 1; \\ \hline \end{array} \quad B_2 = \{1, 3, 4\}.$$

$$C_4^n = \emptyset; \quad C_4^n = \{001\}.$$

$$D_2^n = C_4^n = \{001\}.$$

$$W_{001} = \left| \begin{array}{c} 001 \\ 000 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 111 \\ 001 \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 110 \\ 001 \end{array} \right| = (0 + 0 + 1) + (1 + 1 + 0) + (1 + 1 + 1) = 6.$$

Назначаем $K_2 = 001$.

Этап 3.

$$M' = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 1 \\ 3 & 6 & 1 \\ 4 & 5 & 1 \\ 4 & 6 & 1 \\ 5 & 6 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \\ 6 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \gamma = 5; \quad M_5 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 1 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 6 & 1 \\ 5 & 1 & 1 \end{vmatrix}; \quad B_5 = \{1, 3, 4\}.$$

$$C_1^n = C_3^n = C_4^n = \emptyset.$$

$$C_1^{n-1} = \{101, 011\}; \quad C_3^{n-1} = \{100, 010\};$$

$$C_4^{n-1} = \{101, 011\}. \quad D_5^{n-1} = \{101, 011, 100, 010\}.$$

$$W_{101} = \begin{vmatrix} 101 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 101 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 101 \end{vmatrix} = (0 + 1 + 0) + (0 + 1 + 1) + (1 + 0 + 1) = 5;$$

$$W_{011} = \begin{vmatrix} 011 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 011 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 011 \end{vmatrix} = (1 + 0 + 0) + (1 + 0 + 1) + (0 + 1 + 1) = 5;$$

$$W_{100} = \begin{vmatrix} 100 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 100 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 100 \end{vmatrix} = (0 + 1 + 1) + (0 + 1 + 0) + (1 + 0 + 0) = 4;$$

$$W_{010} = \begin{vmatrix} 010 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 010 \end{vmatrix} = (1 + 0 + 1) + (1 + 0 + 0) + (0 + 1 + 0) = 4.$$

Выбираем $K_5 = 101$.

Этап 4.

$$M' = \begin{vmatrix} 3 & 6 & 1 \\ 4 & 6 & 1 \\ 5 & 6 & 1 \\ 6 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \gamma = 6; \quad M_6 = M'; \quad B_6 = \{1, 4, 5\}$$

$$C_1^n = C_4^n = \emptyset; \quad C_5^n = \{010\}.$$

$$D_5^n = C_5^n = \{010\}.$$

$$W_{010} = \begin{vmatrix} 010 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 101 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 010 \end{vmatrix} = (1 + 0 + 1) + (1 + 0 + 0) + (1 + 1 + 1) + (0 + 1 + 0) = 7.$$

Принимаем $K_6 = 010$.

Коэффициент качества кодирования составит

$$K = \frac{2 \begin{vmatrix} 111 \\ 000 \end{vmatrix} + 2 \begin{vmatrix} 110 \\ 000 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 001 \\ 000 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 111 \\ 001 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 110 \\ 001 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 101 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 111 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 101 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 110 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 010 \\ 101 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 101 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 000 \\ 010 \end{vmatrix}}{2 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1} = \frac{0 + 2 + 2 + 1 + 0 + 2 + 1 + 1 + 2 + 0 + 1 + 2}{14} = \frac{14}{14} = 1.$$

Каноническая система булевых функций выходов и функций возбуждения, соответствующих прямой структурной таблице автомата Мура на \overline{JK} триггерах, имеет вид

$$y_1 = a_2 \vee a_5; \quad y_2 = a_3; \quad y_3 = a_4; \quad y_4 = a_6.$$

$$\overline{i}_1 = a_1 z x_1 \vee a_6; \quad \overline{K}_1 = a_3 x_1 \vee a_4 x_1.$$

$$\overline{i}_2 = a_1 z x_1 \vee a_5 x_3; \quad \overline{K}_2 = a_3 x_1 x_3 \vee a_4 x_1 x_3.$$

$$\overline{i}_3 = a_1 z \overline{x}_1 x_2 \vee a_4 x_1 x_3 \vee a_4 x_1 x_3; \quad \overline{K}_3 = a_2 x_2 \vee a_3 x_1.$$

Минимизируя данную систему функций, получаем

$$y_1 = a_2 \vee a_5; \quad y_2 = a_3; \quad y_3 = a_4; \quad y_4 = a_6.$$

$$\overline{i}_1 = (a_1 z x_1) \vee a_6; \quad \overline{K}_1 = (a_3 x_1) \vee a_4 x_1.$$

$$\overline{i}_2 = (a_1 z x_1) \vee a_5 x_3; \quad \overline{K}_2 = x_3 (a_3 x_1 \vee (a_4 x_1)).$$

$$\overline{i}_3 = a_1 z \overline{x}_1 x_2 \vee (a_4 x_1) \vee a_6; \quad \overline{K}_3 = a_2 x_2 \vee (a_3 x_1).$$

Полученная система функций приводит к комбинационной схеме, включая и дешифратор состояний (рис. 2), с ценой

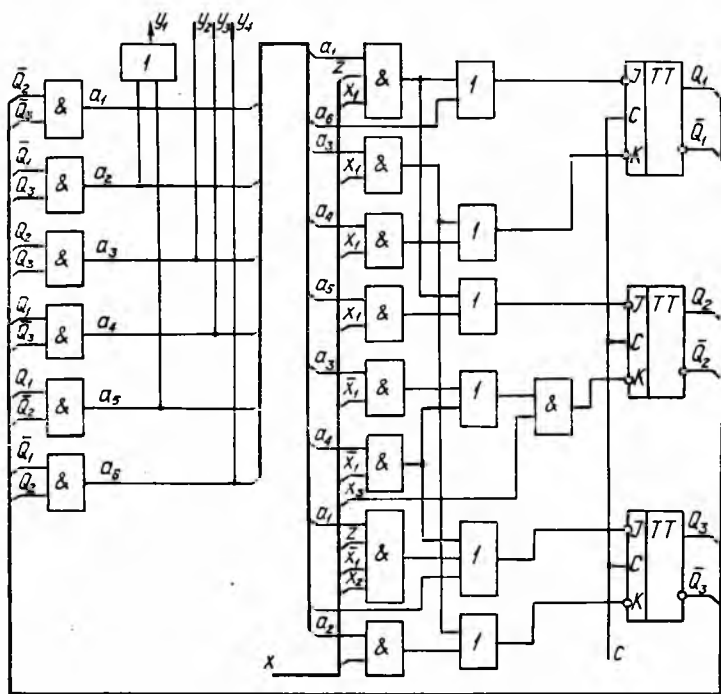


Рис. 2

$C=48$. По сравнению с реализацией данного автомата Мура на RS -триггерах [3], где общие аппаратные затраты $C=55$, экономия числа входов составляет более 12%.

Таким образом, используя в запоминающей части микропрограммных автоматов триггеры с инверсными входами, можно уменьшить аппаратные затраты, что свидетельствует о

целесообразности их применения. Следует, однако, иметь в виду, что окончательный выбор типа элемента памяти при незначительной разнице коэффициентов качества кодирования (для различных вариантов алгоритмов кодирования) нужно делать после анализа аппаратурных затрат, требуемых для совместной реализации полученных систем уравнений.

Список литературы: 1. *Майоров С. А., Новиков Г. И.* Структура электронных вычислительных машин. — Л.: Машиностроение, 1979. — 383 с. 2. *Баранов С. И.* Синтез микропрограммных автоматов. — Л.: Энергия, 1979. — 231 с. 3. *Майоров С. А., Новиков Г. И.* Структура цифровых вычислительных машин. — Л.: Машиностроение, 1970. — 479 с. 4. *Баринов А. К., Какурин Н. Я.* О составлении матриц переходов двончных триггеров. — Приборостроение, 1979, № 7, с. 52—56.

Поступила в редколлегию 20.12.82.

УДК 62.50

А. М. ПРЯНИЦКИЙ, канд. техн. наук, *Г. Я. ШЕВЧЕНКО*,
В. В. ЛОГВИН, *Н. В. БАКОТА*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЧАСТИЧНОГО ПЕРЕБОРА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ГРУПП ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ НАБОРОВ

Часто при классификационной обработке различного рода экспериментальных данных, представленных дискретными наборами (бинарными или k -значными) и являющихся результатом измерения некоторого числа заданных признаков, требуется выделить информативные с некоторой точки зрения группы признаков.

Их выделение необходимо в основном по двум причинам: для уменьшения размерности признакового пространства, в котором происходит распознавание объектов и для построения решающего правила — правила принятия решения о классе предъявленного к опознанию объекта. Под объектом здесь понимается набор x замеренных значений исходных признаков x_1, x_2, \dots, x_n (n — заданное число признаков). В этом случае в распоряжение исследователя предоставляется категоризованная таблица экспериментальных данных, так называемая обучающая выборка (ОВ) — некоторая (полученная или заданная) совокупность наборов значений признаков, где относительно каждого из наборов x имеется четкое указание об отнесении его к одному из имеющихся классов H_i (i — номер класса H_i , $0 \leq i \leq k-1$). Такое указание удобно описывать с помощью некоторой конечнозначной функции f_R , которая, вообще говоря, неизвестна, но известны ее значения на наборах ОВ. Например, если $x \in H_i$, то можно выбрать следующий вид этой функции [1]: $f_R(x) = i$ ($i = 0, 1, \dots, k-1$).

При этом информативность (важность) отдельных признаков „ произвольных совокупностей признаков удобно оценивать по данным ОВ относительно этой функции f_R . Преимущество такого перехода, предложенного в [1], заключается в том, что он дает возможность связать информативность признаков с числом нераспознанных объектов (наборов) ОВ. Ясно, что чем больше объектов ОВ распознается с помощью некоторой группы признаков, тем выше должна быть ее информативность.

На основе таких соображений в [1] был предложен следующий критерий оценки информативности (важности) произвольной группы признаков $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma} (1 \leq \gamma \leq n)$:

$$W(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) = \frac{1}{h} \sum_{\Delta \in \Gamma} \max_m b_{\Delta}^m, \quad (1)$$

где h — число всех наборов ОВ; $\Delta = (t_{i_1} t_{i_2} \dots t_{i_\gamma}) (0 \leq t_{i_j} \leq k_{i_j} - 1) (1 \leq j \leq \gamma, 1 \leq \gamma \leq n)$ — произвольный набор значений признаков $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$; k_{i_j} — число градаций признака x_{i_j} ; b_{Δ}^m — количество всех наборов $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$ ОВ, для которых выполняются соотношения $x_{i_j} = t_{i_j} (j = 1, \dots, \gamma), f_R(x_1, \dots, x_n) = m (0 \leq m \leq k - 1)$; Γ — множество всех наборов значений признаков $x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$.

Однако при значительно выраженной неодинаковости числа объектов в различных классах ОВ более предпочтительным, как показывают исследования, является критерий такого вида:

$$I(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) = \frac{1}{k} \sum_{\Delta \in \Gamma} \max_m \left(\frac{b_{\Delta}^m}{h_m} \right), \quad (2)$$

где k — число классов ОВ, h_m — количество наборов в m -м классе ОВ.

Приведем без доказательства некоторые свойства этих критериев:

- 1) $\frac{1}{k} \leq I \leq 1$, 2) $I(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) = 1 \leftrightarrow x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}$ — тест ОВ (группа признаков, которая без ошибок различает все наборы ОВ),
- 3) $I(x_{i_1}, \dots, x_{i_\gamma}) \geq \max(I(x_{i_1}), \dots, I(x_{i_\gamma}))$.

Замечание 1. Свойство 1 для критерия W имеет место только при равномоощных классах ОВ, иначе $1/k < W \leq 1$.

С учетом свойства 2) информативными считаем такие группы признаков, значения критериев (1) или (2) для которых W близко или равно 1, а количество признаков в группе является приемлемым с некоторой точки зрения. Эти критерии легко реализуются на ЦВМ и удобны при поиске информативных групп признаков (ИГП).

При сравнительно небольшом числе признаков и объектов в ОВ даже полный перебор при поиске ИГП вполне допустим. Но при больших размерах ОВ при таком подходе к поиску ИГП резко возрастают затраты времени, памяти и других резервов ЭВМ.

Поскольку в большинстве случаев заранее указать ИГП представляется маловозможным, для решения задачи в приемлемые сроки пользуются различными методами сокращения перебора, зачастую эвристического характера [2—5].

В данной работе предлагаются и рассматриваются некоторые процедуры, позволяющие сократить полный перебор при поиске ИГП и отличающиеся сравнительной простотой при их реализации на ЭВМ.

Алгоритм 1. 1. С помощью датчика случайных чисел с равномерным распределением производится выбор q признаков из n имеющихся. Из этих признаков формируется группа длины q .

2. Для полученной группы признаков длины q рассчитывается значение ФВГП по одной из формул (1) или (2).

3. Если значение ФВГП превышает некоторый порог $\delta \leq 1$, задаваемый исходя из практических соображений, признаки, входящие в группу, запоминаются. В противном случае запоминание группы не происходит.

4. П. 1—3 повторяются до тех пор, пока число образуемых случайным образом групп не достигнет заранее заданного числа g .

Такой подход был реализован в виде программы на АЛГОЛе для ЭВМ М-222, которая использовалась для обработки данных медицинских исследований. При следующих параметрах ОВ $n=34$, $k=4$, $h=27$ и заданных требованиях $q=3$, $\delta=0,65$, $g=3000$ было найдено 12 ИГП со значениями критерия I , лежащими в диапазоне от 0,7 до 0,82. Затраты машинного времени (использовалась ЭВМ М-222) при этом составили около 1 ч.

Приведенную выше процедуру отбора информативных групп признаков фиксированной длины q можно несколько улучшить (в смысле уменьшения затрат времени, необходимого для образования заданного количества групп фиксированной длины q) с помощью следующей процедуры.

Алгоритм 2. 1. По данным ОВ вычисляются критерии (1) или (2). l ($l < q$) наиболее важных из них выделяются в «ядро», которое остается постоянным для всех образуемых далее групп признаков.

2. С помощью датчика случайных чисел с равномерным распределением производится случайный выбор $(q-l)$ — признаков для заполнения вакантных мест в группе. Признаки, заполняющие «вакантные» места, не должны совпадать с признаками из «ядра».

3. Выполняются пункты 2, 3, 4 алгоритма 1. Выигрыш во времени выполнения алгоритма по сравнению с алгоритмом 1 получается за счет того, что $(q-l) < q$.

В качестве следующей рассмотрим процедуру, позволяющую выявить «наилучшую» в указанном выше смысле группу признаков с некоторой вероятностью, которую можно оценить заранее. Основой такой процедуры служит метод, получивший развитие в последовательном статистическом анализе для задач оптимального управления, выбора наилучшего объекта, оптимальных правил остановки, для которого характерна следующая постановка задачи [6, 7].

Имеются N объектов, упорядоченных по качеству, которое можно представить в виде числа — чем выше качество, тем больше число. Объекты появляются в случайном порядке и последовательно, и наша цель — остановиться, как только появится объект, имеющий максимальное качество среди всех N объектов, после чего прекратить наблюдения. Если число N всех объектов фиксировано, то, как показано в [6], имеется оптимальная стратегия, приводящая к успеху с наибольшей возможной вероятностью.

Такая стратегия оптимального выбора состоит в следующем: пропускается определенное количество объектов s и затем выбирается первый объект, лучший, чем все предыдущие. Число s находится из двойного неравенства (N — заданное заранее число объектов) [6]:

$$\frac{1}{s+1} + \frac{1}{s+2} + \dots + \frac{1}{N+1} \leq 1 \leq \frac{1}{s} + \frac{1}{s+2} + \dots + \frac{1}{N-1}. \quad (3)$$

При этой стратегии наилучший объект, как показано в [6], выбирается с вероятностью:

$$P_n = \frac{s}{N} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{s+1} + \dots + \frac{2}{N-1} \right) \left(\text{при } N \rightarrow \infty, P_n \cong \frac{1}{e} = 0,37 \right). \quad (4)$$

В нашем случае при поиске «наилучшей» группы мы вычисляем (2) для каждой образуемой группы признаков, следовательно, каждой такой группе можно поставить в соответствие численное значение (2), т. е. число, характеризующее качество группы, но тогда мы приходим к рассмотренной выше задаче.

В этом случае объекты — это всевозможные группы признаков. Всего их будет $N = \sum_{i=1}^{n-1} C_n^i$ (группу длины n исключаем из рассмотрения) или $N = 2^n - 2$, где n — число признаков ОВ. Для оценки качества каждой группы вычисляется один из критериев, например (2). Каждой группе можно сопоставить одно из чисел от 1 до $2^n - 2$ и перенумеровать таким образом все группы, после чего применить рассмотренный выше метод

нахождения наилучшего объекта, в нашем случае — группы признаков, имеющей наибольшее значение I , следующим образом.

Вычисляем I для s групп признаков, число s определяем из (3), где $N=2^n-2$. Среди этих s групп выбираем группу $\Gamma_{p \max}$ с наибольшим значением функционала (2) и продолжаем образовывать остальные группы признаков и вычислять для них I , сравнивая полученные численные значения с численным значением I для $\Gamma_{p \max}$. Если среди них найдется группа признаков $\Gamma'_{p \max}$, имеющая численное значение I больше, чем численное значение I для $\Gamma_{p \max}$, то группу $\Gamma'_{p \max}$ и будем считать наилучшей группой признаков в ОВ в упомянутом смысле с вероятностью, вычисляемой по (4).

Для наших целей можно несколько модифицировать этот метод, а именно: к группе $\Gamma'_{p \max}$ присоединить поочередно по одному из оставшихся признаков, не вошедших в эту группу и вычислять для вновь образуемых групп критерий (2), искать среди них группу $\Gamma''_{p \max}$ со значением I , большим, чем значение (2) для $\Gamma'_{p \max}$ и продолжать действовать таким же образом для группы $\Gamma''_{p \max}$ и далее, если при этом происходит увеличение численного значения (2) вплоть до:

- 1) либо приемлемого числа признаков в группе;
- 2) либо до получения приемлемого значения I .

Если же значение I стабилизируется для образуемых таким образом групп, то прекращать испытания и считать наилучшей группой $\Gamma'_{p \max}$.

Пример. Используя описанный метод, найдем наилучшую группу признаков для ОВ, заданную ниже. Наборы этой ОВ имеют число признаков $n=5$, следовательно, $N=2^n-2=30$. Выбираем, например, $s=10$. При этом по формуле (4) вероятность нахождения наилучшей группы признаков $p \cong 0,34$. Вычисляем критерий (2) для десяти первых по порядку (в том числе и единичной длины) групп признаков и выбираем среди них группу с наибольшим значением (2).

Обучающая выборка					$f_R(X)$
x	x	x	x	x	
0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	1

Для четвертой по порядку группы (единичной длины) x_4 значение (2) максимально и равно 0,9. Для групп определенной длины перебор ведем в лексикографическом порядке, т. е. x_i, x_j, \dots, x_s ($i=1, \dots, 5; j=1, \dots, 5; s=1, \dots, 5; i \neq j \neq \dots \neq s$).

Продолжая вычислять (2), для других групп признаков находим, что для 17-й по порядку группы x_1, x_2, x_4 значение (2) оказалось большим, чем для x_4 . Следовательно, с вероятностью

$p \cong 0,34$ группа признаков x_1, x_2, x_4 является наилучшей относительно критерия (2) группой признаков в таблице.

Аналогичную процедуру можно, очевидно, применять и для поиска наилучшей группы признаков фиксированной длины. Очевидны также и другие модификации такого подхода к поиску наилучшей группы признаков.

Рассмотрим теперь процедуру поиска наилучшей группы признаков, напоминающую в некоторой степени процесс селекции, как это имеет место в природе.

Алгоритм 3. 1. По данным ОВ вычисляется один из критериев, например, критерий (2) для признаков x_i ($i=1, \dots, n$). Признак x_{i_l} , значение I для которого максимально, запоминается в ячейке d . Если $I(x_{i_l}) = \delta$, то искомая группа состоит из одного признака x_{i_l} , и алгоритм прекращает свою работу. Иначе x_{i_l} заносит в «ядро» и переходят к п. 2. Заметим, что «ядро» каждой группы является постоянным и состоит из признаков, отобранных на предыдущем шаге, — в данном случае из признака x_{i_l} .

2. С помощью «ядра» и $(n-1)$ оставшихся признаков образуются $(n-1)$ различных групп признаков длины 2. Группа признаков x_{i_l}, x_{i_s} , значение (2) для которой максимально, запоминается.

Если $I(x_{i_l}, x_{i_s}, x_{i_k}) = \exists$, то искомая группа — x_{i_l}, x_{i_s} и алгоритм прекращает свою работу. Иначе признаки x_{i_l}, x_{i_s} заносятся в «ядро» и переходят к п. 3.

3. Из «ядра» и $(n-2)$ оставшихся признаков образуем $(n-2)$ различных групп признаков длины 3. Группа $x_{i_l}, x_{i_s}, x_{i_k}$, имеющая максимальное значение критериев (2), запоминается.

Если $I(x_{i_l}, x_{i_s}, x_{i_k}) = \delta$, то $x_{i_l}, x_{i_s}, x_{i_k}$ — искомая группа, и алгоритм прекращает свою работу. Иначе признаки $x_{i_l}, x_{i_s}, x_{i_k}$ заносятся в ядро и переходим к следующему пункту.

Далее поступаем аналогичным образом вплоть до момента, либо когда значение I для полученной группы является приемлемым или не ниже заданного порога, либо когда имеются ограничения на длину группы. Полученная единственная группа и будет информативной. Главным достоинством этой процедуры является достаточно быстрое отыскание ИГП. При небольшой модификации алгоритма 3 можно находить не единственную, а некоторое число таких групп.

В заключение заметим, что в качестве алгоритмов поиска информативных групп признаков можно использовать также различные алгоритмы построения так называемых распознающих деревьев, например, алгоритм, описанный в [8].

Список литературы: 1. *Василенко Ю. А., Пряницкий А. М.* Об оценке важности информационных признаков при распознавании дискретных наборов. — Управляющие системы и машины, 1972, № 2, с. 38—40. 2. *Ивахненко А. Г.* Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. — К.: Техника, 1971. — 371 с. 3. *Сыпчук П. П., Талалай А. М.* Методы статистического анализа при управлении качеством изготовления элементов. — М.: Сов. радио, 1979. — 168 с. 4. *Адельсон-Вельский Г. М., Куниц П. Е., Леман А. А.* Об одном классе обучающихся алгоритмов узнавания. — Докл. АН СССР, 1967, Г 173, с. 532—534. 5. *Фогельсон Ю. Б.* Сокращение перебора при построении разделяющих признаков. — В кн.: Описание и распознавание объектов в системах искусственного интеллекта. — М.: Наука, 1980, с. 89—92. 6. *Ширяев А. Л.* Последовательный статистический анализ. — М.: Наука, 1973. — 235 с. 7. *Хургин Я. И.* Да, нет, или может быть. — М.: Наука, 1977. — 208 с. 8. *Моделирование алгоритмов обучения распознаванию образов на ЭЦВМ/А. М. Пряницкий, Ю. А. Василенко, И. В. Сироджа и др.* — Пробл. бионики, 1975, вып. 15, с. 91—102.

Поступила в редколлегию 05.01.83.

УДК 62.506.2

Н. Г. ЛЫСЕНКО

ДВУХОСНОВНАЯ АЛГЕБРА ПРЕДИКАТОВ

Пусть E — множество p элементов строгого порядка $a_1 \subset \subset a_2 \subset \dots \subset a_p$ с заданными на нем двумя переменными X и Y . Введем на E предикат «узнавания» сегмента c :

$$X^c = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{Пр } X = c, \\ 0, & \text{если } \text{Пр } X \neq c, \end{cases} \quad c = [a_i, a_{i+k}],$$

где i — сдвиг сегмента относительно точки отсчета переменной X ; k — размер сегмента.

Система всевозможных предикатов данного типа представляет собой спектральное множество операторов, поскольку удовлетворяет трем условиям: закону идемпотентности $X^c \cdot X^c =$

$= X^c$: закону истинности $\bigvee_{i=1}^{p-1} \bigvee_{k=1}^{p-1} X^c = 1$, (если $i + k > p$, то $i +$

$+ k = p$); закону ложности $X^a \cdot X^b = 0$, (если $a \infty b$).

Предлагается двухосновная алгебра предиката. Одним основанием ее служит множество значений предиката $\{0, 1\}$, которое совместно с логическими операциями \vee и \wedge , необходимыми для записи в д. н. ф. предикатов, представляет собой булеву алгебру, а другим основанием является множество «узнаваемых» сегментов, которое совместно с операциями \cup и \cap (операция \cup необходима для объединения «узнаваемых» сегментов в максимальный, а \cap — для задания порядка, так как $a \subseteq b$ выполняется для сегментов a и b структуры, если $a \cap b = a$) представляет собой алгебру Кантора. Аксиомами дан-

ной двухосновной алгебры являются аксиомы булевой алгебры и алгебры Кантора применительно к своим множествам и указанные выше три условия применительно ко всему предикату.

Построим Кс-грамматику данной двухосновной алгебры. Введем определение символа терминального алфавита из следующего соображения. В рамках данной алгебры будем рассматривать лишь функции, допускающие представление в виде совершенной д. н. ф. предикатов аналогично [1, 2]: $f(X, Y) = \bigvee X^a Y^b f(a, b) = 1$.

О п р е д е л е н и е 1. Символом терминального алфавита называется элементарная конституента, которой соответствует подмножество, не являющееся частью подмножества иной одной или нескольких элементарных конституент рассматриваемой функции.

Метапеременной аксиомой принимаем утверждение, что совершенная д. н. ф. предикатов функции — это предложение. Введем определение слова как одного из символов нетерминального алфавита, исходя из следующего соображения. Как известно, в булевой алгебре кратчайшая д. н. ф. монотонной функции равна ее совершенной д. н. ф. В рамках предлагаемой алгебры имеет место аналогичное свойство. В общем случае отношение сегментов во всевозможных наборах индексов этой д. н. ф. не является функциональным, так что логически возможны два случая: эти сегменты либо связаны, либо нет. Наличие связанных сегментов сечения означает, что последние не являются максимальными и их необходимо объединить в один максимальный. Разумеется, в результате объединения сегментов не исключена возможность получить несколько несвязных максимальных сегментов в одном сечении. Наиболее естественно частично избавиться от нескольких сегментов в одном сечении разбиением совершенной д. н. ф. на несвязные подмножества, которые далее рассматриваются самостоятельно.

О п р е д е л е н и е 2. Слово — это несвязная часть совершенной д. н. ф. предикатов.

Однако и в слове не исключена возможность наличия нескольких несвязных максимальных сегментов в одном сечении. Критерий разбиения слова на подмножества со всюду определенным функциональным отношением сегментов вытекает из следующего. При сравнении проекций сечений на каждую переменную логически возможны четыре случая: две сравниваемые проекции эквивалентны (∞), одна из сравниваемых проекций является подмножеством другой проекции ($a \subset b$), одна из сравниваемых проекций включает другую как подмножество ($a \supset b$), первая сравниваемая проекция не эквивалентна никакому подмножеству другой проекции и вторая проекция не эквивалентна никакому подмножеству первой проекции ($a \infty b$).

Замечаем, что подмножеством со всюду определенным функциональным отношением сегментов является часть слова

с отношением проекций сегментов по каждой переменной $\langle \ni \vee \subseteq \vee \subseteq \ni \rangle$.

О п р е д е л е н и е 3. Слог — это часть совершенной д. н. ф. с отношением проекции сегментов в каждом последующем сечении по каждой переменной $\langle \ni \vee \subseteq \vee \subseteq \ni \rangle$.

Построим схему грамматики, которая приводит к представлению предложения в виде кратчайшей д. н. ф. Укажем метапеременную, для которой существует простой алгоритм построения кратчайшей д. н. ф.

Теорема 1. *Отношения частичного порядка проекций сегментов по каждой переменной в отдельности для слога однозначно определяют связанное с ними отношение строгого порядка «узнаваемых» сегментов конституэнт, представляющих собой кратчайшую д. н. ф. слога.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Применяя закон идемпотентности к проекциям узнаваемых сегментов по каждой переменной в отдельности и сортируя их по возрастанию, получаем один или два строгих порядка по каждой переменной (если два строгих порядка по одной переменной, то и два строгих порядка по другой переменной, поскольку их отношение функционально в слоге). При этом число элементов строгого порядка по одной переменной равно числу элементов строгого порядка по другой переменной, поскольку их отношение функционально в слоге. Каждая конституэнта в любом из двух строгих порядков слога $\supset_x \subset_y \vee \subset_x \supset_y$ не сократима, так как в противном случае надо было бы признать, что строгие порядки проекций сегментов не таковы или их отношение в слоге не функционально. Таким образом, поскольку число результирующих конституэнт минимально, то, следовательно, получаем кратчайшую д. н. ф. слога, что и требовалось доказать.

Разбиение слова на слоги согласно выше указанному признаку гарантирует построение кратчайшей д. н. ф. для каждого слога, но не гарантирует разбиение слова на минимальное количество слогов и символов. Все дело в том, что проекция «узнаваемого» сегмента, являющаяся критерием отбора конституэнт, зависит от выбора координат. Однако в конституэнте имеется параметр, не зависящий от выбора координат. Конституэнта представляет собой прямоугольник, содержащий четыре угла, из которых некоторые или все являются фиксированными (угол фиксирован, если он образован двумя контурными линиями и не принадлежит конституэнте с большим числом фиксированных углов). При сравнении множеств фиксированных углов конституэнт логически возможны четыре случая (как и при сравнении самих конституэнт): множества фиксированных углов двух сравниваемых конституэнт эквивалентны, множество фиксированных углов одной конституэнты эквивалентно подмножеству фиксированных углов нескольких других конституэнт, множество фиксированных углов конституэнт эквивалентно подмноже-

ству фиксированных углов одной и той же конституэнты, множество фиксированных углов одной конституэнты не эквивалентно никакому подмножеству фиксированных углов другой конституэнты и множество фиксированных углов второй конституэнты не эквивалентно никакому подмножеству первой конституэнты.

В первом случае обе сравниваемые конституэнты объединяются в одну. Во втором случае несколько конституэнт поглощают одну. В третьем случае несколько неравных конституэнт объединяются в одну. В четвертом случае сокращения конституэнт не происходит. Применяя закон идемпотентности, выявляем равные конституэнты, а применяя закон истинности, выявляем конституэнту, поглощаемую несколькими другими. В первых двух случаях не происходит увеличения числа фиксированных углов оставшихся конституэнт, как это имеет место в третьем случае, поэтому критерием отбора конституэнт для кратчайшей д. н. ф. предлагается требование, чтобы каждая элементарная конституэнта содержала максимальное число фиксированных углов.

Докажем справедливость принципа оптимальности для данного критерия, позволяющего использовать последний как целевую функцию динамического программирования на последнем шаге построения кратчайшей д. н. ф. слова.

Теорема 2. *К кратчайшим д. н. ф. слогов, объединяемых в одно слово, после применения закона идемпотентности и истинности применим принцип оптимальности по максимальному числу фиксированных углов.*

Доказательство. Предположим, что кратчайшая д. н. ф. слова состоит из нескольких конституэнт с двумя фиксированными углами. Будем полагать, что при объединении кратчайших д. н. ф. слогов после применения закона идемпотентности и истинности нам удалось получить кратчайшую д. н. ф. слова, состоящую только из конституэнт с двумя фиксированными углами. Это означает, что конституэнты с тремя фиксированными углами представились конституэнтами с двумя фиксированными углами, что противоречит сохранению общего числа фиксированных углов и, следовательно, принцип оптимальности нарушен быть не может.

Поскольку n -мерную функцию без труда можно интерпретировать как функцию двух переменных, где под первой переменной подразумевается сечение $n-1$ переменных, то обе указанные теоремы остаются в силе. В том случае, когда объект расчленяется на прямоугольники, грани которых расположены под углом φ к линиям координатной сетки, необходимо учитывать наклон контурной линии к координатной сетке. В общем случае, когда объект расчленяется на прямоугольники, пересекающиеся между собой, необходимо учитывать возможную параллель-

ность отрезков контурной линии, что, разумеется, никоим образом не отменяет вышеуказанные теоремы.

О п р е д е л е н и е 4. Отображение одного множества в другое назовем подобием, если оно сводится к линейному «преобразованию» (сдвигу, повороту, растяжению или сжатию) д. н. ф. одного множества по отношению к д. н. ф. другого множества.

Линейное «преобразование» задается параметрами i , k , φ . В общем случае множество может иметь несколько кратчай-

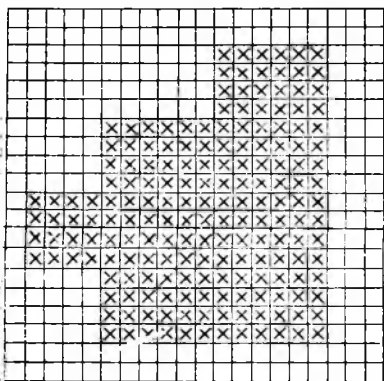


Рис. 1

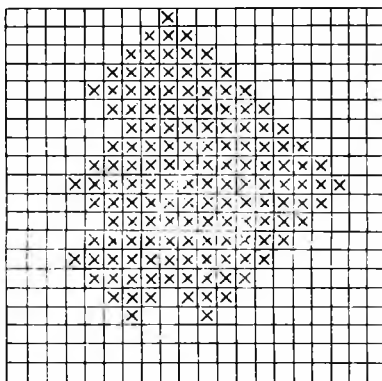


Рис. 2

ших д. н. ф. предикатов в отличие, например, от объектов на рис. 1, 2, где подобие устанавливается однозначно.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. О теории интеллекта. — Пробл. бионики, 1979, вып. 22, с. 3—11. 2. Обработка изображений при помощи неточечных преобразований/С. Л. Горелик, Е. Г. Михелович, В. А. Пинцов и др. — Автоматика и телемеханика, 1979, № 2, с. 100—109.

Поступила в редколлегию 17.11.81.

УДК 51:330.115

А. В. ПАНИШЕВ, канд. техн. наук

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ДРЕВОВИДНЫХ СТРУКТУР

Возможность разработки эффективных процедур, типичных для многих задач информационного поиска, является одной из главных преимуществ двоичных (бинарных) деревьев над другими подходами к организации больших массивов информации. Исследования структур данных, задаваемых различными классами двоичных деревьев, в основном направлена на улучшение их характеристик с точки зрения занимаемой памяти и времени поиска [1].

Двоичное дерево — разновидность ориентированного (корневого) дерева, применяемого как способ изображения иерархически связанных объектов.

Все понятия и определения, касающиеся ориентированных графов и способов их машинного представления, используются в данной работе в соответствии с терминологией, приведенной в [2, 3].

Большинство древовидных структур имеет машинное представление в виде связанных списков [3, 4]. Очень часто алгоритмы обработки списков включают в себя операции, в конечном итоге осуществляющие спуск по дереву от корня к его листьям. В этом случае для представления вершин дерева элементами списков фиксированного размера устанавливается соответствие между деревьями и бинарными деревьями [3]. Опишем процесс его нахождения.

Пусть $F = (V, E)$ — конечное ориентированное неупорядоченное дерево. Образует последовательность $0, v_1, v_2, \dots, v_{m_0}$, помечая нулем корень дерева и нумеруя в произвольном порядке числами $1, 2, \dots, m_0$ все вершины, непосредственно следующие за корнем. Из исходного дерева удалим дуги $(0, v_1), (0, v_2), \dots$, и соединим вершины v_1, v_2, \dots, v_{m_0} дугами $(v_1, v_2), (v_2, v_3), \dots, (v_{m_0-1}, v_{m_0})$, определяя путь $(0, v_1, v_2, \dots, v_{m_0})$. Аналогичным образом, для каждой вершины из v_1, v_2, \dots, v_{m_0} , содержащей непустое множество непосредственных последователей, начиная с первого слева узла v_k , построим части путей, идущих из вершины 0 : $(v_k, v_{m_0+1}, v_{m_0+2}, \dots, v_{m_k}), (v_l, v_{m_k+1}, v_{m_k+2}, \dots, v_{m_k}), \dots, (v_s, v_{m_r+1}, v_{m_r+2}, \dots, v_{m_s}), 1 \leq k \leq l \leq r \leq s \leq m_0$. Процесс перестройки дерева F повторяется для всех подходящих вершин из $v_{m_0+1}, v_{m_0+2}, \dots, v_{m_k}, v_{m_k+1}, \dots, v_{m_s}$ и продолжается до тех пор, пока все узлы множества F не окажутся помеченными.

Результат проведенных однотипных процедур очевиден: дерево $F = (V, E)$ преобразовано в двоичное дерево $T = (V, E')$, $|E| = |E'|$ в том смысле, что за каждой вершиной T непосредственно следуют не более двух вершин [3, 4].

Пусть k -я слева вершина, смежная из корня в неупорядоченном дереве F , занимает позицию k в последовательности $v_1, v_2, \dots, v_k, \dots, v_{m_0}$, $k = 1, m_0$. В этом случае рассмотренное преобразование приводит к естественному соответствию между исходным деревом F и двоичным деревом T [3].

Одной из наиболее важных характеристик двоичного дерева, влияющих на время выполнения машинных процедур, является его высота, которая определяется максимальным числом дуг, образующих путь от корня к листу. Естественное соответствие между F и T не обеспечивает представления дерева в виде двоичного дерева с минимально возможной высотой.

Высота $H(T)$ двоичного дерева, полученного в результате рассмотренного преобразования, зависит от того, как упорядочено каждое множество Γv вершин, смежных из v , при построении части пути с началом в узле v .

Пусть τ — множество всех двоичных деревьев, которые могут быть построены в результате изменения расположения вершин Γv дерева F .

Приведем алгоритм перестройки F в двоичное дерево с высотой, равной

$$MH = \min_{T \in \tau} H(T).$$

Обозначим через $H(v)$ высоту двоичного поддерева с корнем v (высоту узла $v \in T$).

1. $i = p$; p — число уровней F . Установить $H(v) = 0$ для всех листьев v дерева F .

2. $i = i - 1$. Если $i = 0$, то $MH = H(v)$; пройти дерево в горизонтальном порядке, нумеруя его узлы числами $0, 1, \dots, |V| - 1$; конец.

3. Для каждой вершины v уровня i выполнить следующие операции: а) упорядочить множество Γv вершин, смежных из v , по невозрастанию значений их высот; б) в полученной последовательности, начиная с узла с наибольшей высотой, соединить дугой каждую пару соседних вершин; в) установить

$$H(v) = \max_{1 \leq i \leq |\Gamma v|} [i + H(v) | v \in [v]]; \quad (1)$$

г) перейти к п. 2.

Утверждение. Алгоритм преобразует дерево в двоичное дерево минимальной высоты за время $O(\sum_{v \in V} |\Gamma v| \log_2 |\Gamma v|)$, Γv — множество вершин, смежных из v в F .

Доказательство. Начало построения искомого дерева при $i = p$ тривиально. Вычисление высоты оптимального двоичного дерева с корнем в вершине v проводится при использовании всех построенных перед этим оптимальных поддеревьев с корнями в Γv .

$H(v)$ достигает минимального значения, равного значению выражения (1), в предположении, что множеству всех узлов, смежных из v , соответствует невозрастающая последовательность их высот, вычисленных на предыдущем уровне. Упорядочение $|\Gamma v|$ вершин можно выполнить за время $O(|\Gamma v| \times \log_2 |\Gamma v|)$. Другими словами, на множестве τ алгоритм находит двоичное дерево, удовлетворяющее всем требованиям динамического программирования [3]. Утверждение доказано.

Заметим, что в случае преобразования леса в двоичное дерево алгоритм приводит к искомому результату при $p = p + 1$ и условии размещения на одном уровне корней всех деревьев, входящих в лес.

Продемонстрируем работу алгоритма для дерева F , представленного следующим распределением его вершин по уровням: $p = 5: j, k$; $p = 4: d, e, f, \Gamma i = \{j, k\}, l, o, p, r$; $p = 3: b, \Gamma c = \{d, e, f\}, g, \Gamma h = \{i, l\}, \Gamma n = \{o, p\}, \Gamma q = \{r\}, s$; $p = 2: \Gamma a = \{b, c, g, h\}, \Gamma m = \{n, q, s\}$; $p = 1: \Gamma \emptyset = \{a, m\}$.

$i = p$; $p = 5$; $H(j) = H(k) = H(d) = H(e) = H(f) = H(l) = H(o) = H(p) = H(r) = H(b) = H(s) = 0$. $i = 4$. В результате выполнения п. 3 алгоритма получим путь (i, j, k) и $H(i) = 2$. $i = 3$. Вершине c соответствует путь (c, d, e, f) , $H(c) = 3$, а вершине $h - (h, i, l)$, $H(h) = \max(1+2, 2+0) = 3$. Аналогично получим (n, o, p) , $H(n) = 2$; (q, r) , $H(q) = 1$. $i = 2$. Упорядочение Γa приводит к пути (a, c, h, b, g) , $H(a) = \max(1+3, 2+3, 3+0, 4+0) = 5$ для множества Γm имеем (m, n, q, s) и $H(m) = \max(1+2, 2+1, 3+0) = 3$. $i = 1$. Рассматривается последовательность (Φ, a, m) , $H(\Phi) = \max(1+5, 2+3) = 6$. $i = 0$. $MH = H(\Phi)$.

Оптимальное дерево имеет семь уровней. $p = 7: k$; $p = 6: g$.

$\Gamma_j = \{k\}, l, f$; $p = 5: \Gamma b = \{g\}, \Gamma i = \{j, l\}, \Gamma e = \{f\}, p, r, s$; $p = 4: \Gamma h = \{b, i\}, \Gamma d = \{e\}, \Gamma o = \{p\}, \Gamma q = \{r, s\}$; $p = 3: \Gamma c = \{h, d\}, \Gamma n = \{o, q\}$; $p = 2: \Gamma a = \{c\}, \Gamma m = \{n\}$; $p = 1: \Gamma \emptyset = \{a, m\}$.

Список литературы: 1. Евстигнеев В. А. Применение бинарных деревьев для организации больших массивов информации (обзор). — Прикл. информатика, 1981, вып. 1, с. 170—211. 2. Харари Ф. Теория графов. — М.: Мир, 1973. — 240 с. 3. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. — М.: Мир, 1980. — 476 с. 4. Ахо А., Хопкрофт Д., Ульман Д. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. — М.: Мир, 1979. — 535 с.

Поступила в редколлегию 22.10.82.

УДК 612.014.42

Н. Н. КОЛОТИЛОВ, Н. Я. ЛИТВИНОВ, Т. М. СЕМИК

ВНЕШНЕЕ НИЗКОЧАСТОТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ЧЕЛОВЕКА

Вокруг организма человека существует физическое поле, которое состоит из полей эндогенного и экзогенного происхождения, генерируемых различными органами и структурами организма в процессах жизнедеятельности и взаимодействия с экологическими физико-химическими факторами [1]. Составляющими этого физического поля являются электрические, магнитные, электромагнитные, акустические поля самого широко спектра частот, поля механических напряжений структур организма, гравитационные поля, поля и градиенты распределения некоторых биологически активных веществ [1, 2]. Электрические потенциалы (регистрируемые контактными метода-

ми) органов человека лежат в пределах 3 мкВ—5 мВ и регистрируются в пределах 10^{-2} — 10^3 Гц, сегодня это наиболее исследованный диапазон [3].

Для регистрации внешнего электрического поля предложен ряд методов и приборов [2]. Нами для регистрации внешнего низкочастотного электрического поля человека применялся бесконтактный датчик [4], разработанный на базе электрометрического усилителя (ЭМУ), основой которого являлся истоковый повторитель на МОП — транзисторах КП305Е [5]. Питание ЭМУ осуществлялось от аккумуляторов 7Д-0,1 через стабилизатор напряжения. Аккумуляторы имели схему индикации разряда на микросхеме 190 КТ1 и светодиоде [6]. Вход ЭМУ в выключенном состоянии защищался от электростатического электричества нормально замкнутыми контактами геркона. При включении питания ЭМУ контакты размыкались. Во включенном состоянии вход ЭМУ защищала логическая схема на 555 ЛАЗ и транзисторе КТ 312 Б. При превышении потенциала на затворе КП 305Е выше ± 5 В схема обесточивала герконовое реле и затвор закорачивался на землю. По истечении 10—15 с схема возвращалась в исходное состояние. Схема стабилизации обеспечила постоянство входного сопротивления ЭМУ с точностью $\pm 15\%$. Входное сопротивление ЭМУ составляло 10^{12} Ом. Полоса частот 0,1— $20 \cdot 10^3$ Гц, максимальный уровень шумов датчика — 25 мкВ [4]. Приемную функцию выполняли штыри длиной 200 мм и диски диаметром 20 и 40 мм из нержавеющей стали. Плата ЭМУ смонтирована внутри цилиндра из нержавеющей стали диаметром 20 мм и длиной 90 мм.

Данная техническая реализация датчика для бесконтактной регистрации электрического поля человека позволила исследовать внешнее низкочастотное электрическое поле в различных условиях эксперимента. В качестве регистрирующего прибора использовали четырехканальный электроэнцефалограф типа ЭЭГП Ч-02. Измерения проводили в экранированной камере на практически здоровых испытуемых в положении сидя в удобном кресле или лежа на кушетке.

Параллельно с бесконтактным использовали контактный способ измерений. Установлена корреляция полученных данных. Образцы регистрации электрического поля человека даны на рис. 1 (*а* — сигнал дыхания; *б* — ЭКГ; *в* — электрическая активность в области затылка на расстоянии 5 см; *г* — контрольная электроэнцефалограмма с затылочной области — биполярное отведение). Анализ записей дыхания угольным датчиком (рис. 2, *а*), бесконтактным в области грудной клетки (*б*) и в области головы (*в*) показал, что дыхание — структурная компонента общего электрического поля. Характер распределения поля в зависимости от расстояния бесконтактного датчика до исследуемого организма довольно сложен.

Нами были зарегистрированы внешние электрические поля организма человека, амплитуда колебаний которых значительно превышала соответствующие показания контактных датчиков (*а* — отведение правая-левая рука, ЭКГ), располагаемых

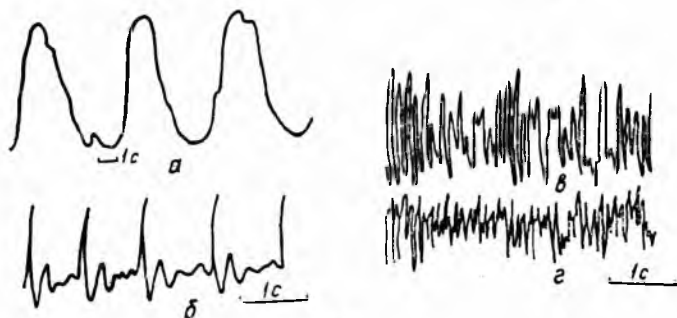


Рис. 1

под бесконтактным датчиком (*б* — в области грудной клетки) или в других соответствующих областях (рис. 3). Этот факт согласуется с данными других авторов, указывающих на значительный уровень, в частности электростатического потенциала, на определенных расстояниях от поверхности организма [2]. Литературные данные и полученные нами экспериментальные материалы позволяют сделать следующие выводы. Внеш-

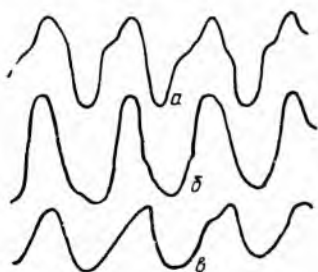


Рис. 2



Рис. 3

нее электрическое низкочастотное поле можно эффективно регистрировать с помощью датчиков предлагаемой конструкции. Эксперименты подтверждают существование электрического поля вокруг организма человека. Значительные величины электрических потенциалов на расстоянии от поверхности тела человека, их большая, по сравнению с контактной регистрацией величина, свидетельствуют об особом свойстве физических полей организмов. Внешнее электрическое поле имеет компонентами электрические поля, излучаемые различными системами организма (например, сердечной системой, мозгом), а поэтому

отдельные компоненты могут регистрироваться в различных точках пространства, независимо от локализации внутреннего источника излучений. Бесконтактный датчик может применяться для регистрации изменений функционального состояния человека-оператора во всех тех исследованиях, где информативными являются стандартные показатели электрокардиограмм, дыхания, электроэнцефалограммы.

Список литературы: 1. Колотилов Н. Н., Бакай Э. А. Элементы теории многоканальной передачи информации в нервных волокнах. — В кн.: Медицинская кибернетика. К.: Здоровье, 1977, с. 53—61. 2. Кулин Е. И. Биоэлектрический эффект. — Минск: Наука и техника, 1980. — 216 с. 3. Сокова А. А. О методах и средствах проверки приборов для измерения биоэлектрических потенциалов. — Измер. техника, 1981, № 3, с. 68—70. 4. Колотилов Н. Н., Литвинов Н. Я. Приборы для бесконтактной регистрации электромагнитных полей биологических объектов. — Тез. I Всесоюз. биофиз. съезда, М., 1982, 4, с. 109. 5. Игумнов Д. В., Громов И. С. Эксплуатационные параметры и особенности применения полевых транзисторов. — М.: Радио и связь, 1981. — 64 с. 6. Строганов Е. М. Сигнализатор разрядки батареи аккумулятора. — Радио, 1981, № 7—8, с. 55.

Поступила в редколлегию 10.12.82.

УДК 510.62

К. В. ЛЮДВИЧЕК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В соответствии с классификацией эрготехнических систем по роли, отводимой в них человеку, определяют четыре рода систем [1]. Поскольку оператор рассматривается как элемент системы, для оценки ее функционирования могут быть использованы методы формализованного описания динамических объектов, применяемые в технике [2]. Однако сложные эрготехнические системы, функционирующие в различных режимах в течение продолжительного времени, на различных этапах могут включать разнородные подсистемы, что затрудняет оценку эффективности системы в целом и деятельности в ней операторов. Определение эффективности операторской деятельности предполагает оценку эффективности решения стоящих перед системой задач и эффективности использования материально-энергетических и психофизиологических резервов операторов.

Особенно трудно оценить эффективность в двух упомянутых аспектах на стадии проектирования эрготехнических систем. На наш взгляд, методом решения поставленной задачи может быть только цифровая имитация, что позволяет проводить комплексное исследование сложных систем, учитывая одновременно эргономические и технические показатели.

В основу разработанной имитационной модели положены принципы, предложенные в работе [3]. Модель имитирует функционирование сложных эрготехнических систем, включающих различные по структуре и принципам действия технические системы, обслуживаемые группой специалистов в составе нескольких десятков человек. ЭВМ по определенным критериям подбирает группу специалистов и имитирует ее работу в процессе выполнения задания, состоящего из отдельных подзаданий.

В качестве исходных данных для имитационного моделирования используют среднее время, необходимое для выполнения каждого подзадания, взаимозависимость подзаданий, интенсивность отказов технических систем, среднее время устранения неисправностей, типы специальностей и необходимое количество специалистов каждого типа и др. Модель предполагает ввод ряда параметров и констант: число итераций, продолжительность рабочего дня, средняя вероятность возникновения аварийной ситуации, квалификация и направленность специалистов и др.

Имитационная модель позволяет оценить эффективность работы группы специалистов при выполнении каждого подзадания как функцию вида

$$W = a_1 W_1 + a_2 W_2 + a_3 W_3 + a_4 W_4, \quad (1)$$

где W — эффективность работы группы специалистов; a_1, a_2, a_3, a_4 — константы; W_1 — психосоциальная эффективность работы группы; W_2 — структурная эффективность работы группы; W_4 — квалификационная эффективность работы группы; W_3 — ситуационная эффективность работы группы.

Психосоциальная эффективность работы W_1 — доля эффективности, зависящая от психосоциальной направленности группы специалистов. Структурная эффективность работы W_2 — доля эффективности, зависящая от структуры группы, т. е. от количества операторских постов, количества связей между ними и надежности этих связей. Ситуационная эффективность работы W_3 — доля эффективности, зависящая от появления аварийной ситуации. Квалификационная эффективность работы W_4 — доля эффективности работы, зависящая от квалификации специалистов. Имитационная модель позволяет прогнозировать также эффективность эрготехнической системы в целом как функцию количества и квалификации обслуживающего персонала, времени выполнения задания, времени отыскания и устранения неисправностей, неравномерности рабочей нагрузки и других переменных. Анализ результатов моделирования показал, что эту функцию можно представить в виде полиномиальной k -факторной статистической модели второго порядка:

$$W_c = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i Z_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} Z_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} Z_i Z_j, \quad (2)$$

где W_c — эффективность эрготехнической системы; Z_i, Z_j — переменные, влияющие на эффективность; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ij} — коэффициенты полиномиальной модели.

С помощью оценок вида (1), (2) можно проследить изменение эффективности эрготехнических систем в зависимости от изменения параметров W_i, Z_i . Кроме того, представление эффективности в виде функции (2) позволяет оптимизировать эрготехнические системы.

Список литературы: 1. *Методические рекомендации по оценке надежности и эффективности комплексных систем «человек-техника»*/Под ред. А. И. Губинского. — Л.: Наука, 1971. — 39 с. 2. *Губинский А. И.* Надежность и эффективность комплекса «система-контроль-человек». — В кн.: Инженерная психология в приборостроении. М., 1967, с. 26—28. 3. *Зигель А., Вольф Дж.* Модель группового поведения в системе «человек-машина». — М.: Мир, 1973. — 261 с.

Поступила в редколлегию 10.02.82.

УДК 612.82.014.42.001.57

Г. А. КОЛОТЕНКО, Т. И. АХМЕДОВ, канд. мед. наук

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПОТЕНЦИАЛОВ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА КАК ФОРМЫ КОМБИНАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ИМПУЛЬСНОГО И ЭЛЕКТРОТОНИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Одной из современных проблем бионики является изучение методами биологической и медицинской кибернетики процессов головного мозга человека в норме и патологии.

Актуальность этой проблемы может быть связана с объективизацией функциональных состояний операторов систем автоматизированного управления, разработкой эффективных методов дифференциальной топодиагностики, конструированием многоканальных специализированных логических микроминиатюрных медико-биологических электроприборов, позволяющих системно-кибернетически анализировать иерархию вариабельных пространственно-временных организаций потенциалов (ВПВО) головного мозга в экспериментальных, клинических, производственно-амбулаторных условиях, в частности, с санитарно-гигиеническими и профилактическими целями.

Цель статьи — кибернетический анализ вариабельных производственно-временных организаций асинхронных и синхронных потенциалов (ВПВОАСП) как одной из форм проявления вариационных воздействий импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга.

Множества иерархических структур ВПВОАСП головного мозга представляют производные комбинационного изменения экзальтации и депрессии импульсного и электротонического возбуждения, являющегося одним из «узких диапазонов» (по

терминологии П. К. Анохина) проявления пространственно-временных отношений целостного организма.

Кибернетический анализ гомоморфных моделей доминантных ВПВОАСП головного мозга нормы (в состоянии относительного покоя, при фотостимуляции 8 Гд и ауто-суггестии покоя) и патологии (опухолях центральных извилин и теменной области) показывает: для головного мозга характерны «инертные» зоны («зоны молчания» или «мертвые зоны»), для которых, по всей видимости, присуще электротоническое возбуждение. Это, главным образом, лобные доли при норме в состоянии относительного покоя и зоны, для которых доминантно импульсное возбуждение (это в том же состоянии, но преимущественно для затылочной области).

Исходя из формулы волновой связи $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \simeq a^2 \Delta u$, имеем

$$\Delta u \simeq \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \text{ где } \Delta u \text{ — оператор Лапласа, } a^2 = \text{const.}$$

Отсюда возможно, что ВПВОАСП головного мозга, обладая свойством «объемности», распространяются как в объеме головного мозга, так и вне его. В аппроксимированном виде преобразования «объемности» иерархических структур ВПВОАСП головного мозга, имеющих волновой характер, в первом приближении могут быть сведены к уравнению Гельмгольца и решению в связи с этим соответствующих дифференциальных уравнений.

Маловероятность, спорадичность пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга в зонах электротонического возбуждения может быть оценена амессеральными связями, так как они, по аналогии с соответствующими функциями, при определенных условиях в цитоархитектопических координируемых полях головного мозга обращаются в логический нуль, что с энергетической точки зрения соответствует не только о наличии составляющей слитно-тонического возбуждения, но в некоторых случаях о замкнутости силовых линий, в частности, электромагнитных.

Комбинаторное воздействие в пространстве и во времени импульсной и электротонической систем возбуждений формирует архитектонику «очевидных» и «скрытых» (по П. К. Анохину) доминант интегративных иерархических структур ВПВОАСП головного мозга, которая вариабельно меняется в зависимости от распределения сил разных форм возбуждений целостного мозга. Предшествующее состояние систем ВПВОАСП является основой последующих иерархических структур пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга.

Случайность иерархических структур ВПВОАСП головного мозга имеет разную меру выраженности, начиная от маловероятности, стремящейся к нулю, что в двоичном счислении в пределе может соответствовать торможению, «обесточенности», «отключению», переводу в состояние логического нуля «0» и кончая вероятностью, стремящейся к идеальному состоянию — достоверности, экстремальной экзальтации, символически обозначаемой логической единицей «1». Даже в этих противовесных состояниях возбуждения ВПВОАСП головного мозга случайность оказывается зависимой от пространственно-временного распределения силовых полей противодействия существующих в единстве противоречий электротонического и импульсного возбуждений головного мозга. Хаотичность в любом случае оказывается неопределенной, безмерной, поэтому в сфере сознания оказывается не идентичной случайности. Неравномерное проявление множества иерархических структур ВПВОАСП мозга (в плане частоты их проявления) согласуется с конструкцией распределения в пространстве импульсного и электротонического возбуждений в объеме целостного мозга, отвечающим в каждый момент времени оптимальным условиям их совместимости.

Если мера лабильности зависит от веса иерархических структур ВПВОАСП головного мозга, то чем больше экзальтация импульсного возбуждения, тем больше вес, а значит интенсивнее лабильность множества ВПВОАСП головного мозга. Поэтому зоны «экзальтированного» импульсного возбуждения, например, затылочных областей по сравнению с зонами «молчания» или торможения лобных долей нормы в состоянии относительного покоя имеют повышенный уровень лабильности, пределы которых колеблются согласно шкалы случайных величин.

Как отмечалось [1], вероятные веса доминантных, дифференцируемых иерархических структур ВПВОАСП головного мозга выражают высокую степень лабильности и подвижности. В этом ракурсе целенаправленные возмущения экзальтируют одни участки импульсного и электротонического возбуждений, угнетают, «депрессировать», тормозят — другие. В результате при различных функциональных состояниях операторов автоматизированных систем управления можно дифференцировать архитектуру доминантных или условно названных экзальтированных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей (СПВСАС) головного мозга иерархических структур.

Активация импульсного возбуждения целостного мозга имеет двунаправленный характер. Она может быть целеустремленно направлена при соответствующем возмущении в сторону торможения некоторых систем и подсистем пространственно-временных связей головного мозга и противонаправлена в сто-

рону усиления лабильности определенных СПВСАС мозга, согласно характеру поведения «экзальтированного» импульсного возбуждения. В последнем случае формируются доминантные системы вероятных пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, которые, используя предложенный аппарат кибернетического анализа, можно различать, а значит использовать на практике при проектировании бионических устройств, комплексов и автоматизированных систем.

Стремление нарушить устойчивость неравновесия приводит к чередованию доминантности пространственного «охвата» возбуждательных сил разной направленности, «активации или торможению», в результате чего меняются «размеры» областей экзальтации и депрессии, приводящие, в частном случае, к нелинейности формирования иерархических структур множества анализируемых СПВСАС головного мозга. Такое решение гомоморфного моделирования может быть реально, если повышение частоты иерархических СПВСАС головного мозга с одновременным повышением амплитуды «биоэлектрических мозаик», характеризует одни области, в то время как активация противоположных процессов приводит к торможению определенных подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Варианты пространственного распределения зон «торможения» в каждый момент времени не исключают из системы электротонического возбуждения головного мозга функций «предвозбуждения» зон импульсного возбуждения, подготавливающей экзальтацию или депрессию иерархических СПВСАС головного мозга к определенной степени выраженности и, возможно, при переходе ЭЭГ колебаний от одной полярности к другой, как ни парадоксально, к дискретной системе электротонического возбуждения целостного мозга. При этом в зонах торможения систем и подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга доминирует состояние системы электротонического возбуждения, не исключая маловероятной выраженности системы импульсного возбуждения, а в зонах доминантности системы импульсного возбуждения маловероятна система электротонического возбуждения. При разработке бионических электроприборов система импульсного возбуждения целостного мозга может рассматриваться как переменная составляющая сети электронных адаптивных схем, система электротонического возбуждения головного мозга — как постоянная составляющая. Использование многопороговых логических элементов позволяет идентифицировать в самоорганизующихся бионических устройствах разную степень выраженности систем импульсного и электротонического возбуждений целостного мозга, например, в форме иерархических структур ВПВОАСП.

Таким образом, биоэнергетическая база множества систем и подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга как целостная единица интегративно связанных иерархических структур неоднородна и в первом приближении отображаемая двумя составляющими, которые проще всего кодируются и технически реализуются в бионическом аспекте при помощи логических элементов.

Исходя из вышеизложенного, раскрываются некоторые особенности архитектуры механизма фронтально-окципитальной и билатеральной асимметрий головного мозга. В таком представлении гомоморфная модель различных систем и подсистем пространственно-временных связей головного мозга образует своеобразный «нелинейный диполь», гигантский по сравнению с бесконечно разнообразными микроциркуляторными биоэлектрическими явлениями, уходящими корнями в цитоплазматические, внутринейронные и более глубокие микростроения. Это можно представить в образе пространственной конфигурации верхушки движущегося айсберга на поверхности океана.

В феноменологическом подходе можно предположить, что биоэлектрическая активность — это интегральное проявление на определенном уровне активности разнообразных взаимообусловленных форм биоэнергии, порожденных нервной системой, на основе которых формируются и различаются средства систем общения с окружающей средой, адекватно стезевой иерархии развития вида. Естественно, СПВСАС для каждого биологического вида оптимальны и специфичны, как и разностепенно влияние на их «коррекцию» космических излучений, в частности, электромагнитных волн и нейтронных потоков.

Известен ряд видов торможения: пессимальное, вагусное, индукционное, гиперполяризационное и т. д. Свести процессы моделируемого торможения иерархических вероятных и маловероятных СПВСАС головного мозга к какому-либо одному из этих видов, значит, недопустимо упростить гомоморфную модель пространственно-временных связей целостного мозга. Система электротонического возбуждения, в одной из граней своего воздействия, интегрируя ЭЭГ колебания, порожденные системой импульсного возбуждения целостного мозга в определенной ситуации условий, выполняет функции экзальтации и депрессии. Здесь, в частности, может возникнуть прообраз пессимального торможения, когда затухание частоты проявления аналогичных структур пространственно-временных связей приводит к маловероятности, спорадичности проявлений, в конечном счете сводя биоэлектрические процессы к электротоническому или слитно-тоническому возбуждению. Этот предел выраженности биоэлектрической энергии позволяет в какой-то мере ответить на вопрос: только ли пессимальное торможение является «инструментом» вытормаживания ненужной в данный момент целостной деятельности и всегда ли, т. е. при всех ла

формах межцентральных взаимодействий, частота импульсаций является главным механизмом торможения» [2, с. 68].

Экспериментально доказано: системы импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга синтезированы, интегрально обусловлены. Взаимодействие и преобразуемость их становится зрительно-динамичной, если предлагаемая гомоморфная модель множества иерархических СПВСАС головного мозга «завязывается» прямыми и обратными, положительными и отрицательными пространственно-временными унитарными и тензорными связями, отображая генез регенерации, роторности и векторной преобразуемости биоэлектрических мозаик, удлинение и укорочение которых зависит от пространственного доминирования электротонического и импульсного возбуждений. В значительно упрощенном виде увеличение в пространстве импульсного возбуждения ведет в наиболее благоприятных условиях к росту веса и структур пространственно-временных связей головного мозга. Но, как доказано экспериментально, вес обратно пропорционален увеличению структур, значит, одновременное увеличение веса и структур отображает идеальный случай. Поэтому диффузность структур иерархических СПВСАС головного мозга приводит к уменьшению весовой интенсивности импульсного возбуждения. Исходя из этого, в одном из аспектов преобразование системы импульсного возбуждения в электротоническое можно представить моделью перерастание архитектоники множества доминантных систем пространственно-временных синхронных локальных связей головного мозга в системы синхронных диффузных (т. е. многоэлементных структур) связей, трансформирующихся в «россыпи» систем асинхронных связей. Они одной стороной, в обратном порядке, образуют системы диффузных синхронных связей, которые, в свою очередь, в пределе преобразований доходят до систем локальных синхронных и асинхронных связей, другой стороной, в порядке прямой направленности преобразований, проходя стадию «предвозбуждения», затухают, «переливаясь» в систему электротонического возбуждения целостного мозга. В другом аспекте представлений кибернетического анализа интегративные прямые и обратные пространственно-временные связи систем электротонического торможения и импульсного возбуждения ярко проявляются при подготовке условий для выраженности друг друга, находясь в фазе «предвозбуждения», фазе «начала и конца». Характерной формой последней являются неочевидные доминанты флуктуирующих систем и подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга при различных функциональных состояниях. Недаром в главе «О природе взаимодействия двух возбуждений в центральной нервной системе» П. К. Анохин подчеркивал, что решение вопроса, заключенного

в названии главы, надо «искать, исходя из пространственных и временных соотношений нервных импульсаций» [2, с. 78].

Итак, можно предположить, что системы зон возбуждения и торможения, поляризуя и деполяризуя друг друга, формируют относительный сдвиг архитектоники доминантных иерархических систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга. Одновременно со сдвигом во времени и пространстве в сфере целостного системы головного мозга перемещаются подсистемы пространственно-временных связей головного мозга относительно друг друга и относительно самих себя по отношению к исходным точкам отсчета.

Рассмотренный подход кибернетического анализа иерархических систем пространственно-временных связей как формы проявления комбинационных воздействий импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга «существенно уменьшает число эмпирических фактов, необходимых для построения теории» [3] коррегирования системами пространственно-временных связей головного мозга в норме и патологии.

Список литературы: 1. Колотенко Г. А. Объемная модель синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. Сообщ. 4.—Пробл. бионики, 1976, вып. 16, с. 127—135. 2. Анохин П. К. Внутреннее торможение как проблема физиологии.—М.: Медгиз, 1958.—178 с. 3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов.—М.: Наука, 1965.—Т. 1. 388 с.

Поступила в редколлегию 10.09.80.

УДК 62.506.2

Н. И. БОГДАНОВ, канд. техн. наук

ПРОБЛЕМНАЯ КОММУНИКАЦИЯ: ГОМЕОСТАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИНТЕЛЛЕКТА (ИНТРАИНТЕЛЛЕКТ)

Хотя закон гомеостаза уже широко используется в системном анализе [1], его фундаментальная роль в теории интеллекта еще не осознана.

В [2] показано, что активность гомеостатических систем обусловлена необходимостью функционального резервирования гомеостаза посредством накопления информации о средствах, способах и возможностях его обеспечения. Вследствие этого ограничиваются возмущения таких систем, вызванные конфликтами между их потребностями и возможностями вещественно-энергетического обмена с внешней средой.

Интеллект, развиваясь под влиянием усложняющихся метагомеостатических (надорганизменных) систем, порождает новые формы функционального резервирования. Вместе с тем первичная гомеостатическая основа интеллекта эволюционирует

гораздо медленнее [2]. Этой фундаментальной структуре (названной интраинтеллектом) и посвящена данная работа.

Интраинтеллект определяет тенденции человека к творческой активности, целеустремленности, нарушению устоявшихся условий существования, размножению, альтруизму, агрессии и самоуничтожению. Естественное причинное обоснование этих тенденций на основе изучения динамики гомеостатических систем необходимо для проектирования и прогнозирования эволюции искусственных интеллектуальных организаций: интеллектуальных роботов, коллективного интеллекта, эргатических и педагогических систем.

Кроме того, исследование причинных закономерностей формирования интраинтеллекта позволяет установить зависимость характера накопления информации от природы гомеостатической системы, необходимую для повышения объективности научного знания и углубления представлений о биосфере, организация которой основана на гомеостатических механизмах.

Как и в работе [2], используется эволюционная систематизация рассуждений, по дисциплине близкая к формальной.

Формируемые ниже допущения, определения, утверждения и примечания начинаются соответственно буквами Д, Оп, У, Пр, после которых указывается порядковый номер. При необходимости конкретных ссылок вместо слов «гомеостатическая система, удовлетворяющая...» записывается ГС (...).

Аналогично даются и ссылки на [2]. Однако для понимания работы достаточно общепринятых представлений о гомеостатических системах [1]. Вводимые термины ограничивают естественный язык и фиксируют характерные особенности интраинтеллекта, подготавливая дальнейшую формализацию описания.

Оп1. Ошибкой ГС(Оп1 [2]) назовем отклонение переменных, характеризующих ее состояние (основных переменных), от границы области допустимых значений.

Д1. ГС(Оп1) минимизирует свою ошибку, используя сигналы внутренних обратных связей по основным переменным.

Д2. Управляющее воздействие, формируемое внутренними обратными связями (внутреннее управление), может реализоваться ГС(Д2) только при регулярном вещественно-энергетическом обмене с внешней средой.

Д3. Только некоторые виды вещества и энергии пригодны для формирования внутреннего управления ГС(Д2). Содержащие их объекты (позитивные объекты) нестационарны и распределены во внешней среде неравномерно.

Д4. Ошибка ГС(Д1—Д3) по каждой из основных переменных в любой момент времени отличается по величине и для ее устранения могут потребоваться различные позитивные объекты.

Д5. Ошибка ГС(Д1—Д4) имеет количественную и качественную характеристики. Первая определяется мерой отклонения основных переменных от области их допустимых значений,

вторая—составом основных переменных, по которым возникло это отклонение.

У1. ГС (Д1—Д5) имеет замкнутый через внешнюю среду канал управления по ошибке ГС (внешнее управление).

Пр1. Сформулирован принцип функциональной неавтономности, играющий фундаментальную роль в становлении интеллекта и образовании метагомеостатических систем: биоценозов и эргатических организаций.

Современные технические системы проектируются обычно так, что их активность подчинена заданной функции (т. е. система функционально автономна). Развитием этого подхода является принцип функционального гомеостаза, т. е. сохранение стабильных в определенных пределах функциональных поведений, необходимых для решения всего заданного набора задач [3]. Ниже показано, что принцип функционального гомеостаза вытекает из закона гомеостаза. В частности, тенденция к автономизации функций связана с отчуждением интеллекта при развитии метагомеостаза, а стереотипизация функциональных поведений — с дефицитом времени, вызванным конфликтными условиями вещественно-энергетического обмена ГС [2].

У2. Для реализации внешнего управления ГС (Д1—Д5) имеет средства распознавания и поиска позитивных объектов и их потребления.

Д6. Средства внешнего управления ограничены.

Оп2. Область, в пределах которой ГС (Д1—Д6) способна непосредственно обнаруживать позитивные объекты, назовем областью обнаружения.

У3. ГС (Д1—Д6) может реализовать внешнее управление: а) перемещением части внешней среды относительно себя; б) перемещением позитивных объектов среды к себе; в) своим перемещением относительно внешней среды; г) комбинацией указанных перемещений.

Д7. ГС (У1—У2), реализующие внешнее управление преимущественно посредством собственного перемещения относительно внешней среды, имеют развитые системы обработки информации и функционируют испытывая дефицит времени [2].

Пр2. Ниже рассматриваются ГС, описанные в Д7.

Оп3. Гомеопропорциональными назовем величины, связанные так, что при возрастании (уменьшении) одной из них возрастает (уменьшается) вторая. Величины, связанные противоположным образом, назовем обратногомеопропорциональными.

У4. ГС (Д7) устремляется к обнаруженному ею позитивному объекту так, как если бы на нее действовала направленная к объекту сила (позитивная квазисила), гомеопропорциональная количественной характеристике ошибки ГС и степени соответствия объекта качественной характеристике ошибке ГС и обратногомеопропорциональная монотонно возрастающей функции расстояния до объекта.

У4. При потреблении ГС(У4) позитивного объекта позитивная квазисила гомеопропорциональна ошибке ГС.

У5. С началом потребления ГС(У4) позитивного объекта замыкается отрицательная обратная связь по скорости изменения ошибки ГС, поддерживающая позитивную квазисилу.

Пр3. У3—У5 дают основания для формализации описания внешнего управления. «Закон тяготения» У3 дает размытое описание взаимодействия ГС и позитивных объектов. У5 причинно обосновывает первый закон Госсена: «по мере удовлетворения потребности прирост наслаждения уменьшается» и свидетельствует о несостоятельности гедонизма.

Оп4. Воздействие ГС на внешнюю среду, вызванное позитивной квазисилой, назовем внешним позитивным управлением.

У6. Количество энергии, мобилизуемой ГС(У4) на внешнее позитивное управление, гомеопропорционально позитивной квазисиле.

У7. Существование ГС(Д7), не использующих внешнего позитивного управления и использующих только его, невозможно.

Пр4. Иначе говоря, системы, не реагирующие на поощрение, и системы, реагирующие только на поощрение, не выживают. При отсутствии позитивных объектов в области обнаружения ГС, реагирующие только на поощрение, неподвижны и гибнут.

Пр5. Показана необходимость механизмов, аналогичных первичным положительным эмоциям. Отметим, что в информационной теории эмоций П. В. Симонова первичные эмоции не рассматриваются, а положительные и отрицательные эмоции считаются однородными.

Оп5. Объекты, явления и процессы, препятствующие внешнему управлению или вызывающие увеличение ошибки ГС, назовем негативными объектами.

У8. ГС(Д7) устремляется от обнаруженного ею негативного объекта так, как если бы на нее действовала сила (негативная квазисила), направленная от объекта и гомеопропорциональная количественной характеристике ошибки ГС и обратногогомеопропорциональна монотонно возрастающей функции расстояния.

Оп6. Воздействие ГС на внешнюю среду, вызванное негативной квазисилой, назовем внешним негативным управлением.

У9. Количество энергии, мобилизуемой ГС(У8) для реализации внешнего негативного управления, гомеопропорционально негативной квазисиле.

У10. Пространственно-временные, информационные, материальные, силовые и квазисиловые ограничения, накладываемые на внешнее управление ГС(У4—У9), являются негативными объектами, которые могут вызывать негативные квазисилы без определенного направления.

У11. При двух равных и противоположно направленных позитивных (негативных) квазисилах, действующих на ГС (У4—У9), возникает случайно направленная негативная (позитивная) квазисила, усиливающая действие одной из них. При этом действие второй квазисилы существенно ослабляется (подавляется).

Пр6. Описан общий принцип управления ГС: принцип подавления. Он используется не только в ситуации «буриданова осла» из У11, но и в других случаях. Фиксация одного из объектов («концентрация внимания») подавляет квазисилы от других объектов. Поэтому сложение квазисил не всегда подчиняется правилам сложения векторов. Это необходимо учитывать при формализации динамики целеустремленных систем.

У12. ГС (Д7), не реализующая внешнего управления по мере роста ошибки, вызванной внутренними процессами, становится сама для себя негативным объектом, который порождает относительно своего местопребывания негативную квазисилу, не имеющую определенного направления (автонегативную квазисилу).

Пр7. При отсутствии внешних позитивных и негативных объектов ГС неподвижна. По мере нарастания ошибки (вследствие внутренних процессов) ГС стремится «избегать саму себя». Так возникает поисковая «спонтанная» активность. При ограничении этой активности возможно самоуничтожение ГС.

У13. Существование ГС (Д7), не использующих негативное внешнее управление и использующих только его, невозможно.

Пр8. Иначе: «Системы, не реагирующие на наказание, и системы, реагирующие только на наказание, не выживают».

Пр9. Показана необходимость механизма, аналогичного первичным отрицательным эмоциям относительно независимого от механизма положительных эмоций. Отличительной его особенностью является возможность возникновения ненаправленных негативных квазисил.

У14. Совокупность негативных и позитивных объектов в области обнаружения ГС (У7, У13) создает негативные и позитивные квазисилы, действующие на нее подобно силовому полю, направляющему ее в область внешней среды, содержащую позитивные объекты (рефлексивное поле).

Пр10. Характеристики рефлексивного поля зависят от текущего состояния и природы ГС. Подавление квазисил и возникновение квазисил с неопределенным направлением делают эту зависимость динамичной и неоднозначной.

Пр11. Существование рефлексивного поля отражается в многочисленных полевых концепциях (биополя, психологического поля К. Левина, информационного поля А. А. Денисова, этнического поля Л. Н. Гумилева, потенциалов вариационного принципа В. Ф. Кротова). Неадекватность характерного для них статического описания очевидна из Пр11. Можно полагать, что

экстремальные принципы, лежащие в основе этих концепций, вытекают из закона гомеостаза.

Оп6. Внешнее управление, формируемое рефлексивным полем, назовем полевым управлением.

У15. Существование ГС(Д7), не использующих полевое управление и использующих только его, невозможно.

Пр12. Иначе говоря: «как расчетливые, так и нерасчетливые системы не выживают». Первое становится очевидным, если представить, что ГС находится в области внешней среды, лишенной позитивных объектов.

Оп7. Состояние ГС, при котором внешнее управление не может быть реализовано или приводит к увеличению ошибки ГС, назовем конфликтом управления.

У16. Конфликт управления ГС(Д7) может быть представлен либо размыканием канала внешнего управления, либо замыканием через внешнюю среду положительных обратных связей, конкурирующих с обратными связями ГС, обеспечивающими внешнее управление.

У17. Конфликт управления ГС(Д7) может быть разрешен только при раздельном формировании внешней и внутренней негативных квазисил и такой модификации сигнала ошибки ГС, которая обеспечивала бы подавление или усиление по меньшей мере одной из них (принцип подавления — усиления).

Пр13. Основной конфликт управления описан в [2]. Отметим, что оценку ошибки ГС естественно интерпретировать как основу «инстинкта самосохранения». Тогда из принципа подавление—усиление следует, что «системы», не способные к подавлению инстинкта самосохранения, не выживают». Развитие интеллекта уменьшает необходимость волевого подавления инстинкта самосохранения.

Оп8. Экзогенной ошибкой ГС назовем составляющую ошибки ГС, вызванную возмущающим воздействием внешнего негативного объекта. Эндогенной ошибкой ГС назовем составляющую ошибки ГС, вызванную внутренними процессами ГС, не связанными с воздействием внешних негативных объектов (в частности, преобразованием вещества и энергии внутри ГС).

У18. ГС(Д7) способна различать эндогенную и экзогенную ошибки. Внутренняя и внешняя негативные квазисилы гомеопропорциональны, соответственно, эндогенной и экзогенной ошибкам ГС.

У19. Способом разрешения конфликта управления ГС(У18) является управление, при котором ослабляется меньший (усиливается больший) из сигналов экзогенной и эндогенной ошибок, а при их равенстве — сигнал экзогенной ошибки (мажоритарное управление).

Пр14. Типичной является ситуация, при которой объекты становятся негативными вследствие того, что он препятствует внешнему управлению (конфликт ограничения). В этом случае

экзогенная ошибка является одновременно и эндогенной. Возникающие при этом негативные квазисилы проявляются как «рефлекс свободы», нередко ведущий к гибели ГС (см. У12).

У20. Существование ГС(Д7), использующих для разрешения конфликта управления только мажоритарное управление и не использующих его, невозможно.

Пр15. У20 можно интерпретировать так: системы, всегда выбирающие из двух зол меньшее и никогда не выбирающие из двух зол меньшее, не выживают.

У21. Способами разрешения конфликта управления ГС(Д7) являются управления, модифицирующие ошибку ГС (модифицирующие управления). Они делятся на управления, ослабляющие сигнал ошибки ГС (микроуправления) и усиливающие этот сигнал (макроуправления). При этом модифицироваться может только одна из составляющих ошибки — экзогенная или эндогенная (соответственно, различаются микро- и макроэкзоуправления и микро- и макроэндоуправления).

Пр16. Управление У21 можно интерпретировать. Микроэндоуправление — терпение (подавление внутренних «страданий»). Микроэкзоуправление — мужество (снижение нечувствительности к внешним воздействиям), микроуправление — потеря сознания, шок, анабиоз, сон (произвольное подавление сигнала ошибки ГС демонстрируют йоги). Макроэндоуправление соответствует ярости, гневу (усиление внутреннего «раздражения»), макроэкзоуправление — страху, ужасу (усиление чувствительности к внешним воздействиям), макроуправление — отчаянию.

Оп9. Систему, реализующую полевое, мажоритарное и модифицирующее управление, назовем интраинтеллектном.

Пр17. Интраинтеллект может использовать только память тела ГС. Тогда он характеризуется как безусловный рефлекс, «эмоциональная логика». Вместе с тем динамика интраинтеллекта формирует и интеллектуальные функции, определяя, в частности, установки и стереотипы поведения. Конфликты управления (включая и вызванные возрастными пиками скорости развития организма) сужают область ориентации ГС. Чтобы это не привело к закреплению конфликта, необходима циклическая смена управлений. Она обеспечивается необоснованным позитивным прогнозом разрешения конфликта (позитивной предикцией, «надеждой»). Важную роль в его формировании играет периодическая нормализация гомеостаза («сон»), устраняющая сужение ориентации ГС, вызванное постоянным отклонением основных переменных (особенно, при неразрешенных конфликтах).

Исследование интраинтеллекта позволяет предположить, что общая эффективность энергетических (интеллектуальных), материальных (репродуктивных) и информационных (интеллектуальных) средств разрешения конфликтов управления удовлет-

воряют закону сохранения (константности выживаемости ГС) и подчинена прижизненному отбору.

Дальнейшее изучение этих закономерностей важно как для проектирования интеллектуальных организаций, так и для анализа ошибок, возникающих при систематизации знаний (например таких, как гегелевский панлогизм, вытекающий из единства гомеостатических основ разума и природных систем или кьеркегоровская диалектика, отображающая динамику интраинтеллекта).

Список литературы: 1. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа.— М.: Наука, 1981. — 488 с. 2. *Богданов Н. И.* Проблемная коммуникация (гомеостатическое структурирование информации). — Пробл. бионики, 1982, вып. 28, с. 33—39. 3. *Павлов В. В.* Начало теории эргатических систем. — К.: Наук. думка, 1975. — 238 с.

Поступила в редколлегию 06.12.82.

УДК 631.3.01

А. А. РОСЬ

ПРОЦЕДУРА ДЕДУКТИВНОГО ВЫВОДА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Введение. Одним из возможных подходов к адаптации автоматизированных систем управления к условиям их функционирования является задание аксиоматической теории, описывающей поведение управляющей системы на некотором формализованном языке. Это возможно благодаря реализации структурной адаптации программ выработки решения на управление. При этом основные понятия теории управления интерпретируются в ЭВМ соответствующими программными единицами, из которых синтезируется управляющая программа. Введем следующие понятия.

Под действием будем понимать отдельную операцию или группу операций, реализуемых функционально законченным фрагментом программы. Материальным эквивалентом действия является находящийся в памяти ЭВМ автономно оттранслированный программный модуль.

Под логическим условием будем понимать такие действия, которые направлены на проверку условий и результатов выполнения некоторых действий. Интерпретацией логического условия является двузначная процедура-функция, также находящаяся в памяти ЭВМ. Предположим, что заданы и реализованы в виде полностью отлаженных программных модулей действия и логические условия, выполняемые ЭВМ в процессе управления. Каждый программный модуль сопровождается

именем, отражающим его содержание, а также входными и выходными формальными параметрами.

Известно поведение управляющей системы в различных возможных ситуациях, описанное некоторой формализованной теорией в терминах имен программных модулей. При этом имена логических условий являются первичными предикатами данной теории и программные модули, их интерпретирующие, могут привлекаться в процессе вывода для означивания первичных формул, а имена действий выступают в качестве собственных понятий теории среды [1].

Необходимо из действий и логических условий, исходя из общего описания поведения управляющей системы в соответствии с целевой установкой ее функционирования, синтезировать алгоритм выработки решения, или, что то же самое, получить план действий управляющей системы по выработке решения на управление и на его основе построить логическую схему алгоритма, в соответствии с которой нетрудно скомпилировать управляющую программу. Как следует из постановки задачи синтеза управляющего алгоритма, она решается в два этапа — планирование действий управляющей системы по выработке решения на управление, направленного на достижение целевой установки, и построение по полученному плану действий алгоритма с последующей компиляцией управляющей программы.

Решение первого этапа задачи синтеза алгоритмов предполагается возложить на дедуктивную вопросно-ответную систему, ядром которой является процедура (алгоритм) дедуктивного вывода (АДВ). Таким образом, АДВ должен быть разрешающей процедурой описанной в [1] теории проблемной среды. В предлагаемом АДВ воплощены идеи, реализованные в процедуре MESON [2]. В данной работе процедура MESON модифицирована в связи с необходимостью оперирования в процессе вывода условной формой записи утверждений теории проблемной среды [1], появление которой обусловлено характером задач управления. Поэтому здесь приводится обоснование только тех механизмов, которые являются дополнением процедуры MESON.

Исходные положения. 1. Предполагается, что исходные данные представлены конечным множеством предметных областей и отношениями, определенными на этом множестве. Следует отметить, что в связи с изменением параметров системы управления с течением времени отношения на множестве предметных областей также будут изменяться.

2. Описание среды задается аксиоматически на языке исчисления предикатов первого порядка, расширенном операторами модальной и временной логик. На входе АДВ аксиоматическая модель проблемной среды представлена множеством предложений [3].

3. Все множество предикатов S разобьем на следующие подмножества: S_P — подмножество, включающее первичные предикаты, истинность которых определяется с помощью двузначных процедур-функций [1]; S_A — подмножество, включающее предикаты, истинность которых задается аксиоматически (эти предикаты могут быть использованы, например, при описании рекомендаций по управлению); S_H — подмножество предикатов, значение истинности которых устанавливается в процессе вывода. Подмножества S_A и S_H в целях удобства дальнейшего изложения объединим в подмножество S_{AH} .

Некоторые предикаты одновременно могут входить в состав подмножеств S_P и S_H , т. е. можно выделить подмножество предикатов S_{PH} , являющееся пересечением $S_P \cap S_H$. С помощью этих предикатов описываются контролируемые условия функционирования АСУ (S_{PH} — подмножество предикатов, описывающих первичные отношения, значения истинности которых можно изменять в процессе управления).

Сущность доказательства. Вывод плана действий системы управления с использованием формально-логического подхода к описанию проблемной среды заключается в доказательстве теоремы, в качестве которой выступает целевая установка, из системы аксиом, описывающих теорию управления. Схематически процесс доказательства можно представить в виде древовидного графа, у которого есть три типа вершин: начальная вершина, называемая корнем дерева, этой вершине сопоставляется формула, подлежащая доказательству; конечные вершины, называемые листьями, им сопоставляются литералы, образованные из предикатов, не входящих в подмножество S_H ; промежуточные вершины, составляющие крону дерева, им сопоставляются промежуточные формулы, полученные в ходе доказательства. Графически дерево будет изображаться корнем вверх, причем в каждую вершину, кроме корневой, входит одна линия, соединяющая ее с ближайшим предком: из каждой вершины, кроме листьев, выходит одна или несколько линий, соединяющих ее с ближайшими потомками. Будем говорить, что вершины находятся на одном уровне дерева доказательства, если у них одинаковое число предков. Корневая вершина находится на первом уровне. Линии, соединяющие вершины разных уровней, можно интерпретировать логической связкой импликация, имеющей направление от потомка к предку. Линии, соединяющие вершины одного уровня, можно трактовать как конъюнкцию сопоставляемых им формул, а сами вершины, соединенные этими линиями, будем называть партнерами. Несколько линий, выходящих из одной вершины, обозначают дизъюнкцию конъюнкций литералов-партнеров, находящихся на ближайшем уровне. Линии-импликации позволяют найти путь от листьев к корню и построить процесс доказательства

в виде цепочки импликаций, напоминающих выводимую формулу теоремы дедукции.

Рассмотрим процесс построения дерева доказательства. Пусть мы находимся на i -уровне дерева и нам нужно установить доказуемость литерала l_K . По списку предложений с учетом возможности унификации аргументов отыскивается вхождение l_K в какое-либо предложение. В случае удачи предложение $l_1 \vee l_2 \vee \dots \vee l_{K-1} \vee l_K \vee l_{K+1} \vee \dots \vee l_N$ (1) преобразуется к виду $L_1 \& \dots \& L_{K-1} \& L_{K+1} \& \dots \& L_N \rightarrow l_K$ (2), где L_1, \dots, L_N — дополнения литералов l_1, \dots, l_N — соответственно.

Таким образом, каждый раз от знака импликации выражения (2) в связи с однозначным исходным представлением аксиом в виде предложений записывается конъюнкция дополнительных литералов, которые можно сгруппировать так:

$$\frac{(L_{j_1} \& L_{j_2} \& \dots \& L_{j_r}) \& (L_{j_{r+1}} \& \dots \& L_{j_N})}{L_{S_{AH}} \quad L_{S_P}}, \quad (3)$$

где первая группа представляет конъюнкцию литералов, образованных из предикатов, включенных в подмножество S_{AH} , а вторая группа — конъюнкцию литералов, образованных из предикатов, входящих в подмножество S_P . Подобное группирование всегда возможно вследствие исходного деления множества всех предикатов на подмножества S_P, S_A, S_H . Поэтому выражение (2) можно записать в виде $L_{S_{AH}} \& L_{S_P} \rightarrow l_K$ (4).

Формулы $L_{S_{AH}}$ и L_{S_P} являются ближайшими потомками литерала l_K и включаются в состав формул, образующих уровень $(i + 1)$ дерева доказательства. Литерал l_K будем считать доказуемым, если истинна формула $L_{S_{AH}} \& L_{S_P}$, т. е. если одновременно истинны формулы $L_{S_{AH}}$ и L_{S_P} .

Истинность формулы L_{S_P} установить несложно путем означивания предикатов, входящих в нее, так как в системе хранятся программы, интерпретирующие содержание первичных предикатов. При этом могут быть определены условия истинности формулы $L_{S_{AH}} \& L_{S_P}$.

Истинность формулы $L_{S_{AH}}$ требуется определить в процессе дальнейшего вывода, т. е. необходимо установить выводимость каждого литерала формулы и сделать заключение о выводимости самой формулы. Если в формуле $L_{S_{AH}}$ встретился невыводимый литерал, то необходимо литерал l_K пометить как невыводимый, вернуться на уровень $(i - 1)$ и на основании правила разбора случаев [5] попытаться установить доказуемость литерала, потомком которого является литерал l_K , другим путем, если это возможно.

В соответствии с принятыми обозначениями процесс вывода можно изобразить схематически, как это показано на рис. 1. Естественно, что приведенная схема является очень грубым приближением процесса вывода, так как каждый литерал фор-

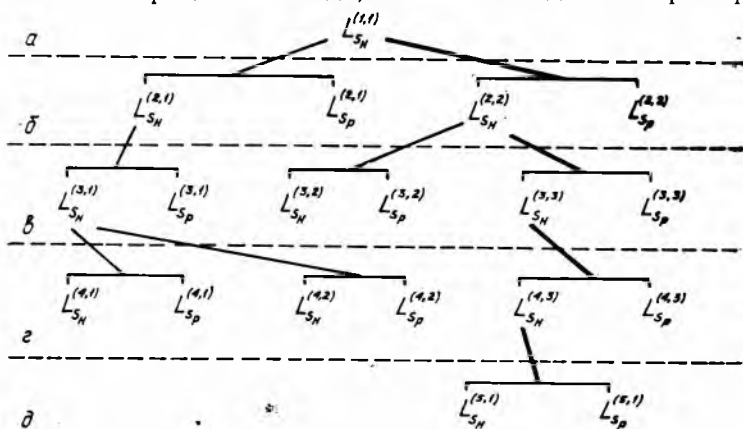


Рис. 1

мулы $L_{SAH}^{(i,j)}$ порождает по структуре такое же поддерево, как и сама формула $L_{SAH}^{(i,j)}$, тем не менее она отражает основные этапы процесса вывода. На рис. 1 жирными линиями отмечен один из возможных путей доказуемости, который в общем виде можно записать следующим образом:

$$L_{SAH}^{(N,j_N)} \& L_{SP}^{(N,j_N)} \rightarrow (\dots (L_{SAH}^{(1,j_1)} \& L_{SP}^{(1,j_1)} \rightarrow (\dots (L_{SAH}^{(2,j_2)} \& L_{SP}^{(2,j_2)} \rightarrow L_{SAH}^{(1,j_1)}) \dots)) \dots), \quad (5)$$

где $L_{SAH}^{(i,j_i)}$, $L_{SP}^{(i,j_i)}$ — формулы, расположение которых на дереве доказательства определяется i -м уровнем и j_i -м местонахождением на этом уровне. Следует отметить, что выражение (5) истинно при допущении, что истинны формулы вида $L_{SP}^{(i,j)}$, истинность которых требуется еще установить.

Применяя правила равносильных преобразований к формуле (5), можно получить выражение, которое запишем в следующем виде:

$$\underbrace{L_{SAH}^{(N,j_N)} \rightarrow (\dots (L_{SAH}^{(1,j_1)} \rightarrow (\dots (L_{SAH}^{(2,j_2)} \rightarrow L_{SAH}^{(1,j_1)}) \dots)) \dots)}_{\text{ядро}} \bigg/ \underbrace{\& L_{SP}^{(i,j_i)}}_{\text{условие}}. \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой условную форму (1) (в дальнейшем подобную запись будем называть условно-истинностной формой). Последнее выражение будем читать: формула-ядро выводима при наличии условий, описываемых формулой $\& L_{SP}^{(i,j_i)}$.

Таким образом, установив выводимость ядра при допущении, что условие истинно, следует выяснить, существуют ли условия выводимости формулы-ядра, определяемые формулой $\& L_{SP}^{(i,j)}$, и при необходимости — какие они. Для этого формула-условие путем восстановления кванторов по функциям Сколема, являющимся аргументами предикатов, преобразуется в предваренную форму [4], после чего полученная формула проверяется на истинность на всех наборах значений переменных при помощи алгоритма означивания. Те наборы значений переменных, на которых истинна проверяемая формула $\& L_{SP}^{(i,j)}$, и определяют условия выводимости формулы-ядра.

Следует отметить, что формула (6) справедлива для сред, не изменяющих свое состояние во времени. Мы же рассматриваем систему аксиом, которые описывают поведение управляющей системы, функционирующей в динамической среде. В связи с этим расширим понятие условно-истинностной формы. В соответствии со смыслом, вложенным в это понятие, выражение (4) перепишем в виде

$$L_{SAH}/L_{SP} \rightarrow l_K \quad (7)$$

и будем трактовать его следующим образом: литерал l_K доказуем, если формула L_{SAH} доказуема и существуют условия истинности литерала l_K , определяемые формулой L_{SP} .

Рассуждая аналогично, запишем выражение (5) в виде

$$L_{SAH}^{(N, jN)} / L_{SP}^{(N, jN)} \rightarrow (\dots (L_{SAH}^{(1, j_1)} / L_{SP}^{(1, j_1)} \rightarrow [\dots (L_{SAH}^{(2, j_2)} / L_{SP}^{(2, j_2)} \rightarrow L_{SAH}^{(1, j_1)}) \dots]) \dots). \quad (8)$$

Круглые скобки заменим квадратными для удобства чтения полученного выражения. Заметим, что в общем случае правило перестановки посылок (5) к выражению (8) применять нельзя, так как дерево вывода, интерпретирующее формулу (8), определяет временную последовательность действий. С учетом этого замечания в выражение (8) вкладывается следующее содержание: формула, заключенная в квадратные скобки, доказуема, если существуют условия ее доказуемости, определяемые формулой $L_{SP}^{(i,j)}$, и к моменту их выполнения истинна формула $L_{SAH}^{(i,j)}$. При этом формула, заключенная в квадратные скобки, полагается доказуемой при наличии условий, описываемых формулами $L_{SP}^{(K,j)}$, где $K < i$. Формула $L_{SP}^{(i,j)}$ определяет начальные условия доказуемости формулы, заключенной в квадратные скобки. Формула (6) является частным случаем формулы (8).

Сформулируем правила установления выводимости формул. Все правила можно разбить на две группы: правила окончания вывода и правила разметки вершин дерева вывода. Как было

отмечено ранее, в результате вывода формируется дерево, листьями которого являются одиночные литералы. Чтобы построить дерево доказательства для всех формул, выводимых в теории, описывающей динамическую среду, определены критерии окончания вывода: истинность анализируемого литерала задана аксиоматически; литера служит дополнением литерала, являющегося предком данного литерала; литерал уже встречался в качестве предка; нет предложений, которые можно использовать для продолжения вывода данного литерала.

С целью определить выводимость того или иного литерала каждой вершине дерева сопоставляется одна из меток: аксиома, выводима, условно допустима, условно выводима, допустима, логически не определена, не допустима, противоречива.

Для установления выводимости формул вершинам дерева доказательства присваиваются метки, которые формируются в соответствии с правилами. Последние можно разбить на три группы: правила разметки листьев дерева, правила сопоставления меток конъюнкциям литералов (на дереве доказательства они представлены литералами-партнерами) и правила сопоставления меток вершинам исходя из анализа меток вершин-преемников.

Сопоставление меток листьям дерева осуществляется по следующим правилам.

1. Вершина, образованная литералом, истинность которого задана аксиоматически, сопровождается меткой «выводима».

2. Вершине, образованной литералом, являющимся дополнением одного из литералов-предков, ставится в соответствие метка «допустима».

3. Вершина, образованная из литерала, который встречался в качестве литерала-предка ранее, метится меткой «не допустима».

4. Вершине, образованной из первичного предиката, сопоставляется метка «условно выводима».

5. Вершина, образованная из литерала, дальнейший вывод которого невозможен из-за отсутствия предложений, включающих этот литерал, метится «логически не определен».

6. Вершина, образованная литералом, помеченным как «выводим», причем ранее было установлено, что его дополнение также «выводимо», сопровождается меткой «противоречива».

Следующие две группы правил представлены таблицей. В строке 10 указывается сопоставляемая конъюнкции литералов или вершине дерева метка, определенная в результате анализа меток литералов-партнеров или вершин-преемников. Возможные метки, которыми могут идентифицироваться литералы-партнеры или вершины-преемники, приведены в строках 2—9. Символ + указывает на обязательное присутствие хотя бы одной вершины с данной меткой, символ — на обязательное отсутствие вершин с данной меткой, а символ X — на то, что

№ правила	Выводима	Условно выводима	Допустима	Условно допустима	Логически не определена	Не допустима	Заключение
-----------	----------	------------------	-----------	-------------------	-------------------------	--------------	------------

Правила сопоставления меток конъюнкции литералов

7	×	×	×	×	×	+	Не допустима
8	×	×	×	×	+	—	Логически не определена
9	×	×	×	+	—	—	Условно допустима
10	×	+	+	—	—	—	Допустима
11	×	—	+	—	—	—	Условно выводима
12	×	+	—	—	—	—	Выводима
13	+	—	—	—	—	—	

Правила сопоставления меток родительским вершинам (дизъюнкции литералов)

14	+	×	×	×	×	×	Выводима
15	—	+	×	×	×	×	Условно выводима
16	—	—	+	×	×	×	Допустима
17	—	—	—	+	×	×	Условно допустима
18	—	—	—	—	+	×	Логически не определена
19	—	—	—	—	—	+	Не допустима

в данном случае безразлично, будут ли среди группы анализируемых вершин вершины с соответствующей меткой. Представление правил заключения о выводимости вершин дерева доказательства в виде таблицы является наглядным и удобным для реализации на ЭВМ.

Кроме перечисленных правил введем еще одно, которое трудно включить в таблицу. Оно позволяет вершинам с меткой «допустима» или «условно допустима» ставить в соответствие метку «выводима» или «условно выводима».

20. Если вершина сопровождается меткой «допустима» или «условно допустима», то если на дереве вывода она не расположена так, что один из ее потомков или она сама является дополнением одного из ее предков, она переименовывается на «выводима» или «условно выводима» в соответствии с правилами, приведенными в таблице.

Правило 20 применяется всякий раз перед этапом сопоставления метки конъюнкции литералов. Применение правил вывода продемонстрируем на примерах.

Пример 1. Пусть задана система предложений $\sim D \vee B \vee C$, A , $\sim A \vee B \vee C$, $A \vee \sim B \vee C$, $\sim A \vee \sim B \vee C$, и требуется определить выводимость литерала B . Дерево вывода приведено на рис. 2. На этом дереве вершина 5 в соответствии с правилом 5 «логически не определена», так как предложе-

ная с вхождением литерала $\sim C$ отсутствуют, т. е. заключения о выводимости литерала $\sim C$ из данной системы аксиом сделать невозможно из-за отсутствия необходимой информации. Это свидетельствует о неполноте аксиоматической модели. Согласно правилам 8 и 20 делается заключение, что для установления выводимости литерала B исходная система аксиом неполна.

Пример 2. Пусть задана система аксиом $\sim D \vee \sim A \vee \sim B \vee C$, $\sim E \vee \vee \sim F \vee \sim A \vee D$, $\sim B \vee E$, $\sim H \vee F$, H , причем A и B — первичные предикаты. Необходимо установить выводимость литерала C . Дерево вывода приведено на рис. 3. На этом графе вершины 3, 4, 7, 8 в соответствии с правилом 4 помечены «условно выводима», конъюнкциям литералов 2, 3, 4 и 5, 6, 7 согласно правилам 10 и 11 присваивается метка «условно выводима». В результате процесса доказательства делается вывод, что литерал C является условно выводим, т. е. выводим при выполнении условий, определяемых формулой $A \& B$.

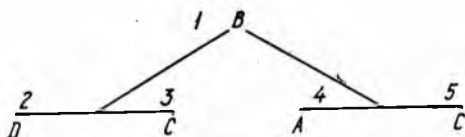


Рис. 2

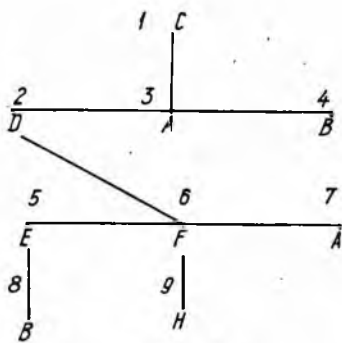


Рис. 3

Дерево доказательства, получаемое в результате вывода, представляет собой план действия и содержит всю информацию о последовательности действий, направленной на достижение системой управления целевой установки.

Описанная процедура дедуктивного вывода программно реализована на языке ПЛ/1, загрузочный модуль занимает объем оперативной памяти в 70 кбайт (ЭВМ ЕС-1030).

Список литературы: 1. Ярушек В. Е., Багаев А. П., Рось А. А. О построении вопросно-ответных систем для АСУ. — АСУ и приборы автоматики, 1980, вып. 54, с. 103—112. 2. Loveland D. Automated Theorem Proving: A logical Basis. — North-Holland Publishing Company, 1978. — 405 p. 3. Нильсон Н. Искусственный интеллект. — М.: Мир, 1973. — 267 с. 4. Новиков П. С. Элементы математической логики. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. — 400 с. 5. Герцен Г. Исследования логических выводов. — В кн.: Математическая теория логического вывода. М.: Наука, 1967, с. 9—74.

Поступила в редколлегию 25.02.81.

УДК 62.506.2

И. П. ПОТЕМКИНА

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ И ЯЗЫКОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

В лингвистической литературе вопрос о семантической памяти рассматривается лишь с ориентацией на автоматизированный перевод. Термин «семантическая память» не существует как таковой и, естественно, не имеет определения.

Вместе с тем постановка и решение проблемы семантической памяти важны для решения как некоторых общих лингвистических проблем, связанных с изучением мыслительного процесса, так и частных, предусматривающих, например, построение различных моделей системной организации слов и языковых значений.

Материалом предлагаемой статьи послужили сочетания слов, воспринимаемые как единое семантическое целое, но не зафиксированные в словарях: *on to it, for out, farther out, for one, along with, any number of things, once again, it's not as if, if at all, once in a while* и т. п.

Представляет интерес не только нахождение их значений и определение этого процесса, но и выявление семантической отнесенности их компонентов и определение места этих сочетаний в английском языке.

Рассматриваемые сочетания характеризуются тем, что составляющие их компоненты не имеют собственного лексического значения, а иногда и не содержат в себе знаменательных слов, как *if at all, on to it, it's not as if, for one* и др. Тем не менее подобные построения легко понимаются и переводятся на русский язык. В примере «*It's not as if have anything to again*» *It's not as if* легко переводится готовым сочетанием «не то, чтобы...» *But what else could it have been? Any number of things*. Сочетание *any number of things* воспринимается так же, как единое семантическое целое, не реализующее своих единиц поэлементно. *What do you mean, the powers-that-be? Larry Vaughan for one*. Мы переводим *for one* — например, хотя словарь такого сочетания не дает. Как же находятся в русском языке соответствующие эквиваленты?

Вероятно, точкой соприкосновения служит некая ограниченная семантическая основа, общая мысль, однородная понятийная отнесенность. Признание двойственной природы языка, плана содержания и плана выражения допускает некоторую самостоятельность каждой из этих сторон. Именно допущение самостоятельности стороны содержания и стороны выражения делает возможным существование некоего семантического языка или «языка мысли» [7] в отличие от языка естественного.

Если допускается существование семантического языка, то производство семантически оформленных предложений предстает в виде перевода с семантического языка на естественный, а понимание таких предложений можно представить как перевод с естественного языка на семантический [1, с. 253]. Таков был бы процесс, если говорящий и слушающий пользовались одним, общим для них, языком. При наличии собеседника, говорящего на иностранном языке, или текста этот процесс соответственно усложняется. Поняв мысль, т. е., находясь на семантическом уровне иностранного языка, мы подбираем соответ-

вующие понятия на семантическом уровне родного языка, а затем выражаем их на естественном родном языке.

Познавая мир при помощи понятий, люди, говорящие на разных языках, обозначают одни и те же предметы и понятия различно, благодаря свойству языковой обусловленности лексических значений. Свойством языковой обусловленности объясняется и явление синонимии в одном конкретном языке [3]. Таким образом, можно предположить, что если на семантическом языке мысль имеет единственный стандартный способ записи, то на естественном языке ей равнозначны несколько различных способов. С одной стороны, если в словаре нет перевода сочетаний *if at all, for one, far out* и т. п., то можно составить равнозначные им *if it was, if they were, for that, for example, far ahead*, каждый из компонентов которых общеизвестен. С другой стороны, нахождение соответствующих им общеизвестных сочетаний узаконивает их существование как равнозначных сочетаний естественного языка.

Проблема значения решается обычно в лингвистической литературе в связи с определением значения слова, которое многими современными учеными считается отношением звукового комплекса слова к факту мышления, понятию.

В данной работе рассматриваются не отдельные слова, а сочетания слов, поэтому значение определяется в более широком смысле. При этом сочетания слов считаются образованиями, представляющими чувственно-материальные факты, которые способствуют воспроизведению мысли или эмоционального состояния. Включение в чувственно-материальные языковые средства любых звуковых комплексов как результата языковой деятельности (слов, сочетаний, предложений) приводит к обобщенному пониманию языкового значения. «Языковое значение — это отношение чувственно-материального языкового средства к фактам мышления и эмоционального состояния, состоящее в способности самостоятельно или совместно с другими, строго определенными материальными средствами вызывать эти факты» [6, с. 91]. Определив анализируемые сочетания как единицы, имеющие языковые значения, посмотрим, какие факты мышления, понятия они отражают. Как материальные языковые единицы они представляют собой сочетания предлогов с местоимениями (*on to it, for one*), прилагательных или наречий с предлогами (*far out, farther out, along with*), наречия с наречием (*once again*), наречия с предлогом и существительным (*once in a while*), союза с предлогом и с местоимением, местоимения с существительными (*any number of things*) и др. Можно сказать, что в основном эти сочетания состоят из незначащих слов (по мнению большинства ученых, лишь номинативных), выражающих наименование фактов, имеют понятия. К ним относятся существительные в прямом падеже, прилагательные, глаголы в форме инфинитива, взятые вне

зависимости от других слов. Такой точки зрения придерживается, например, Е. М. Галкина-Федорук, которая считает, что служебные слова, а также местоимения, имена собственные и междометия понятий не выражают [2, с. 120]. Однако есть и другая точка зрения, утверждающая, что «всякое слово является носителем понятий в широком смысле» [4, с. 77]. Так, Л. О. Резников полагает, что понятия могут выражать не только факты действительности, но и отношения между ними. По его мнению, отражая отношения, понятия могут быть выражены такими незнаменательными частями речи, как предлоги и союзы. Как и П. В. Чесноков [6], мы придерживаемся второй точки зрения, «различаем абстрагирование интенсивное от экстенсивного» [6, с. 23]. Если интенсивный аспект абстрагирования позволяет выделять существенную сторону в самом предмете, то экстенсивный аспект абстрагирования отвлекает предмет от других предметов, т. е. делает предметом рассмотрения отношения между предметами или фактами. Эти отношения могут быть выражены соответствующими сочетаниями слов. Далее П. В. Чесноков утверждает, что понятие отвлекает один факт от другого, отражает вещь в целом или отдельные ее свойства, состояния, отношения вещей. Подчеркивается, что для мыслительного процесса необходимо не только противопоставление фактов, но и установление связи (отношения) между ними. Но если мы устанавливаем связи, отношения между фактами, мы можем сделать объектом рассмотрения природу этих связей. Тем не менее, определяя понятие, П. В. Чесноков считает, что оно не раскрывает отношения между предметами.

«Понятие есть непредикативная единица мышления, отражающая существенные признаки предметов действительности (и среди них обязательно отличительные), которая выделяет предметы как самостоятельные объекты, выступающие в особом отношении к другим таким же объектам, но не раскрывает этого отношения» [6, с. 25].

Хотя в указанной работе П. В. Чеснокова отношения между объектами действительности не являются предметом рассмотрения и отражения в понятиях, в ней впервые определяются единицы мышления, содержащие идею привязанности к чему-то. Они называются терминами «релянта» и «комбинанта». «Релянта — это непредикативная единица мышления, которая отражает существенные (в том числе и отличительные) признаки отдельных сторон (отношений) предметов, не выделяет эти стороны предметов как самостоятельные объекты и содержит в себе идею их непосредственной привязанности к чему-то иному» [6, с. 29]. Комбинанта выделяет предметы как самостоятельные объекты и раскрывает отношения между ними. В качестве языкового эквивалента «релянты» приводятся служебные слова, выражающие отношения между фактами (от, но, под). В качестве языкового эквивалента «комбинанты» — слова и словосочета-

ния, не только именующие факты, но и вскрывающие отношения между ними (быстро значит «с быстротой», водным путем значит «по водному пути»).

Выделение релянт и комбинант как понятийных категорий, отражающих отношения между предметами, становится возможным благодаря идее экстенсивного аспекта абстрагирования. Именно идея экстенсивного аспекта абстрагирования делает возможным разграничение и определение характера отношений между предметами и, соответственно, выражающих их сочетаний слов. Общим для анализируемых сочетаний является то, что все они в противоположность научным выражают бытовые понятия и относятся к общеупотребительной лексике. Отношения, которые они выражают, можно разделить на конкретные и абстрактные. К конкретным мы относим временные, пространственные отношения, выражающие направление и объем содержания. Так, *once in a while, once again by now* и др. обозначают временные отношения, а именно однократность совершения во времени. Сочетания *far out* и *farther out* обозначают пространственные отношения. Сочетания типа *on to it* обозначают направление. *If at all* обозначает отношение по объему содержания. При помощи таких сочетаний может выражаться отношение совместимости или несовместимости (*It's not as if, along with, let alone, as well, for that matter*). *For one, any number of things* обозначают отношения равнозначности. Итак, анализируемые словосочетания представляют собой формальные единицы, которые отражают зависимость одних фактов от других, подключенность одних фактов к другим. Если в обычном понимании значения слова оно предстает как отношение звукового комплекса к понятию, то можно сказать, что анализируемые сочетания имеют языковые значения, отражающие их отношения к понятию отнесенности, подключенности понятий. На понятийном уровне эти единицы не подходят под определение выделенных П. В. Чесноковым релянт и комбинант, хотя и имеют с ними некоторое сходство. Поэтому в данной работе предлагается называть их релятивными концептами, понимая под таким концептом элементарную неделимую понятийную единицу, содержащую идею отнесенности. Языковые эквиваленты релятивных концептов предлагается называть релятивно-бытовыми сращениями. Под сращением понимается любое сочетание слов, являющееся постоянным или временным, закрепленным или незакрепленным результатом языковой деятельности.

Если семантический язык с закрепленными в нем понятиями, представляющими отражения предметов и явлений действительности, представляет собственно мышление, то конкретная мыслительная деятельность, конкретное оперирование мыслями, процесс взаимодействия мыслей мы предлагаем называть семантической памятью. Поскольку мы считаем, что в семанти-

ческую память включаются также нефиксированные мысли, отдельные разовые сочетания понятий, рассматриваемые релятивные концепты включаются в семантическую память как материал для осуществления мыслительного процесса.

Семантический язык и семантическая память неразрывно связаны. Мыслительные процессы семантической памяти, появление новых мыслей, новых мыслительных связей постепенно закрепляются и затем могут переходить в семантический язык. Этот процесс взаимодействия можно разграничить на постоянный, устойчивый, который можно назвать постоянной семантической памятью, и временный, краткий, который можно соответственно назвать кратковременной семантической памятью. В постоянную семантическую память включаются установившиеся закономерные мыслительные процессы, а нефиксированные мысли и разовые сочетания понятий включаются в кратковременную семантическую память. Очевидно, что выделенные нами релятивные концепты следует включить во временную семантическую память, хотя некоторые из них выражают сочетания уже зафиксированные или испытывающие необходимость быть зафиксированными в словаре.

Не употребляя термина «семантический язык», Ш. Балли отмечал, что в определенный, нужный для ситуации момент, могут быть использованы любые знания, оформленные так называемым языком мысли. Тогда незафиксированные разовые мысли, не ставшие еще закономерными мыслительные процессы могут стать обычными, закономерными и перейти в постоянную память. При этом они могут произвести изменения в семантическом языке, что соответственно может повлечь к изменениям в естественном языке, в частности, может явиться одним из семантических способов обогащения словарного состава языка, такого способа, который состоит в образовании новых значений для существовавших ранее слов и словосочетаний.

Список литературы: 1. *Апресян Ю. Д.* Идеи и методы современной структурной лингвистики. — М.: Просвещение, 1966.—301 с. 2. *Галкина-Федорук Е. М.* Слово и понятие в свете учения классиков марксизма-ленинизма. — Вестн. Моск. ун-та, 1951, №9, с. 105—125. 3. *Кодухов В. И.* Введение в языкознание. — М.: Просвещение, 1979. — 350 с. 4. *Попов В. С.* Понятие слова в свете марксистского учения о непосредственной связи языка и мышления. — Вестн. Моск. ун-та, 1954, №4, с. 69—84. 5. *Резников Л. О.* Понятие и слово. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1958. — 124 с. 6. *Чесноков П. В.* Слово и соответствующая ему единица мышления. — М.: Просвещение, 1967. — 191 с. 7. *Bally Ch.* Traité de stylistique française. — P., 1922. — 1 bd, 324 с.

Поступила в редколлегию 13.08.82.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВОГО БИОПОТЕНЦИАЛА И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

1. **Введение.** На различных уровнях иерархической организации головного мозга вследствие нелинейного характера взаимодействия между нейронами могут возникать образования, которые можно рассматривать как некоторые функциональные единицы. Получение информации о механизмах взаимодействия и организации таких единиц в систему является одной из основных задач при изучении головного мозга.

Если ранее в качестве функциональных единиц рассматривались отдельные клетки, объединенные сетью аксонов, то в настоящее время уже обнаружены такие образования, как «колонки», включающие 10^6 и более клеток. Размеры образований достигают ~ 1 мм [1].

Учитывая, что размеры области, в которой происходит взаимодействие таких единиц, иногда в несколько раз превышают размеры ее самой, можно ставить задачу изучения их свойств посредством уже наружных измерений, без использования микроэлектродов.

Любая функциональная единица, представляющая собой объединение сильно коррелированных клеток, внешне должна проявляться как некоторая неоднородность в распределении электрической активности. Этой неоднородности можно приписать скорость перемещения, время жизни и другие параметры, характеризующие ее как некоторую «частицу» независимо от ее происхождения.

Эволюцию таких образований можно описывать уравнением переноса, учитывающим законы сохранения числа частиц в пространстве параметров, что существенно сужает класс моделей, в рамках которого можно изучать свойства функциональных единиц путем сравнения с экспериментом.

В [2] в рамках модели переноса была рассмотрена возможность описания закона распространения медленной патологической активности, генерируемой опухолью. Использовалась простейшая симметричная модель переноса неоднородностей при предположении, что вследствие нейтральности в целом каждая из них представляет собой диполь. Модель характеризовалась одним параметром — длиной пробега относительно рассеяния, процесса, при котором происходит изменение направления перемещения неоднородности. Значения этого параметра, определенные с большой избыточностью из эксперимента, оказались ~ 5 мм, т. е. порядка возможного «радиуса взаимодействия» неоднородности.

Хотя полученный результат в силу грубости модели и ограниченности информации об электрической активности носит предварительный характер, он показывает возможность изучения свойств функциональных единиц посредством микроскопических измерений биопотенциала (б. п.).

Уточнение модели, учитывающее более детальные свойства функциональных единиц, особенно использование для этой цели экспериментов по изучению реакции усвоения ритма вызванных потенциалов, в которых необходимо учитывать наличие многочисленных связей между однородными участками, требует более детальной информации об электрической активности, полученной независимым способом.

Один из путей получения такой информации — это определение мгновенного распределения электрической активности по многоканальным измерениям фонового б. п. Находя это распределение для последовательных моментов времени, можно проследить процесс перестройки электрической активности. Получение такой детальной информации позволит выявить существенные связи между однородными участками и упростить модели, используемые для изучения свойств функциональных единиц и механизмов их взаимодействия.

2. Распределение источников и фоновый биопотенциал. Феноменологический анализ. Применяемые для изучения электрической активности микроэлектродный метод и метод исследования энцефалограмм (ЭЭГ) имеют свои особенности, ограничивающие область их использования.

Локальные значения биопотенциала (б. п.), регистрируемые микроэлектродом, являются интегральной функцией источников б. п. и зависят от их распределения во всем объеме. Поэтому, например, значения б. п., измеренные в различных точках пространства, скоррелированы, хотя б. п., возможно, создается статистически независимыми источниками, расположенными в этих же точках.

Только в тех случаях, когда микроэлектрод находится в непосредственной близости от источника б. п. (например, вблизи нервной клетки), динамика изменения б. п. электрода отображает динамику источника. Для восстановления распределения непосредственно в плотностях источников б. п. необходимо измерить распределение б. п. в этом объеме, введя в него большое количество (≈ 65) электродов. Травмирующее воздействие такого количества электродов приводит к нарушению нормальной работы этого участка мозга. По этой причине микроэлектродный способ исследования электрической активности следует рассматривать как локальный.

При удалении точки расположения электрода от исследуемой точки в измеренное значение б. п. вносят соизмеримый вклад источники из все более обширной области мозга. Дополнительное искажение распределения потенциала в соответствии с за-

конами электростатики происходит из-за пространственного разнесения точек, что затрудняет сопоставление результатов многоканальных измерений ЭЭГ с локальной активностью мозга. Кроме того, имеет место информационная ограниченность ЭЭГ, регистрируемой на поверхности головы, а знания распределения б. п. только на одной поверхности недостаточно для восстановления электрической активности в объеме.

Возможность восстановления электрической активности в объеме мозга по результатам измерения б. п. в другом объеме предоставляет известная интегральная зависимость между распределением источников и распределением биопотенциалов [3]. В соответствии с этой зависимостью распределение б. п. в любой области содержит информацию о распределении источников. Задача организации измерений состоит в том, чтобы вклад интересующих нас источников в это распределение был основным, а распределение б. п. можно было измерить в таком объеме, чтобы ошибка восстановления распределения источников была приемлемой.

Известно, что в проводящей среде, какой служит головной мозг, существование зарядов, являющихся источником электрического б. п., требует специальных условий. Далее рассматриваются эти условия.

Электрическое поле E и электрический заряд в самом общем случае связаны уравнением Максвелла $\operatorname{div} E = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$ (1), где ρ — полный электрический заряд, уравнением для подвижности свободных зарядов $j = \sigma E, j = \rho_{св} - v$ (2), v — скорость ионов, и уравнением неразрывности для тока свободных зарядов $\operatorname{div} j = -\frac{\partial \rho_{св}}{\partial t}$ (3). Уравнение (1) справедливо для любой, в том числе проводящей среды, какой является мозг, необходимо только в правой части учесть все виды электрических зарядов.

Для анализа примем следующую феноменологическую модель мозга: проводящая среда с переменной, меняющейся в пространстве проводимостью σ пронизана сетью активных элементов, в которых вследствие биохимических процессов генерируется электродвижущая сила (ЭДС). В результате действия ЭДС в сети активных элементов возникает и поддерживается плотность заряда $\rho_{ак}$, которая связана с сетью и переносится вследствие процессов, происходящих в сети.

Компонентами такой сети могут быть не только нейроны и аксоны, но и более крупные образования, объединяющие большое количество клеток, взаимодействующие с окружающими их тканями, причем перемещение в пространстве в первом приближении не зависит от электрического поля.

В соответствии с этой моделью полный заряд в системе будет равен $\rho_0 = \rho_{св} + \rho_{ак} + \rho_d$, где $\rho_{св}$ — свободные заряды, обеспечивающие ток проводимости; ρ_d — связанные заряды, возникшие в результате поляризации диэлектрика $\rho_d = \epsilon E$; $\rho_{ак}$ — заряды, генерируемые активными элементами.

Так как ток проводимости удовлетворяет уравнениям (1), (2), так что $\text{div } j = (\nabla \sigma, E) + \sigma \text{ div } E = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$, то для свободного заряда получим зависимость

$$\rho_{св}(t) = -\frac{1}{\sigma} (\nabla \sigma, E) - \rho_d - \rho_{ак} + \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \rho_{св}}{\partial t}.$$

Полный заряд будет

$$\rho_0(t) = \frac{1}{\sigma} (\nabla \sigma, E) - \frac{1}{\sigma} \frac{\partial \rho_{св}}{\partial t}. \quad (4)$$

В стационарном приближении $\frac{\partial \rho_{св}}{\partial t} \approx 0$ и потенциал удовле-

творяет уравнению $\Delta u = \frac{1}{\sigma} (\nabla \sigma, \nabla u)$ (5). Из (4) следует, что в стационарном режиме как свободный заряд, так и полный заряд сосредоточены в областях с ненулевым значением градиента проводимости, причем заряд $\rho_{ак}$ полностью компенсируется ионами проводимости. Именно динамика заряда, сосредоточенного в этих областях, определяет изменение фонового потенциала, регистрируемого в энцефалограмме. Эта динамика зависит от эволюции самого источника и от эволюции во времени неактивной среды, свойства которой определяют распределение неоднородностей проводимости.

В связи с дальнедействием электрических сил вклад генератора электрического поля в ЭЭГ будет определяться как полюсами самого источника, так и неоднородностями, расположенными вдали от него. Здесь мы имеем полную аналогию с задачей локализации источника света, находящегося в светорассеивающей неоднородной среде, когда вокруг него возникает световой ореол.

Могут ли в головном мозгу существовать условия, когда становится существенной нестационарность электрических процессов? Ответ на этот вопрос важен при решении задачи идентификации распределения непосредственно самих активных элементов.

Данные внеклеточной регистрации спайковой активности нейронов, полученные с помощью микроэлектрода, а также теоретические оценки указывают на такую возможность. Общепринятым считается, что механизм замыкания токов, выхо-

дящих через мембрану аксона в области перехватов Ранвье, осуществляется через аксонную щель. Условие стационарности будет выполняться, если токи через мембрану будут меньше или равны току через щель при одной и той же разности потенциалов. Оценки, выполненные с учетом известных данных о величине щели, проводимости щели и мембраны [4, 5], показывают, что это условие будет выполняться, если мембрана находится в неактивном состоянии, и нарушаться, если — в активном. Если волокна параллельны, а нейроны функционируют в когерентном режиме, то нескомпенсированный вследствие нестационарности заряд может суммироваться, и при большом объеме когерентности даст существенный вклад в фоновый потенциал. В то же время такой суммарный заряд вследствие возможных нелинейных взаимодействий, например, через механизм электрона, может приводить к прерыванию распространения импульсов по волокнам и локализации активности в некоторой области, к образованию функциональной единицы.

По зависимостям (1) и (4) для нестационарного режима получим уравнение вида

$$\frac{\partial}{\partial t}(\operatorname{div} E) - f_1(\sigma, t) \frac{\partial E}{\partial t} - f_2(\sigma, t) E = F_{ak}(x, t) \quad (6)$$

($F_{ak}(x, t)$ — функция, линейным образом зависящая от плотности $\rho_{ak}(t)$ и их производной по времени), которое позволяет получить информацию непосредственно о распределении активных источников $\rho_{ak}(t)$ по распределению электрического поля.

В соответствии с уравнением (5), (6) можно поставить несколько различных по характеру получаемой информации обратных задач.

Используя уравнение (5), с учетом соответствующих граничных условий в стационарном приближении можно рассмотреть задачу восстановления потенциала и напряженности электрического поля по объему мозга. Для постановки подобной задачи необходимо знание функции $\sigma(x, y, z)$, для которой трудно задать детальное описание и которую можно определить, по-видимому, только статистически.

При восстановлении распределения б. п. в верхних слоях коры решение задачи можно значительно упростить. Поскольку ткань между корой и электродами является слоисто-однородной, можно методом аналитического продолжения определять распределение б. п. в пределах однородного участка, используя для перехода от участка к участку условия сопряжения для потенциала и тока [6]. Учитывая, что аналитическое продолжение возможно и в области, где существуют источники, если они аналитически распределены [7], этот метод позволяет определять не только распределение б. п. в верхних слоях коры, но и проводить локализацию сильных источников б. п., если

возможно выделение поля этих источников. Смысл решения этой задачи — в устранении искажений в распределении б. п., являющихся результатом пространственного искажения распределения б. п. и устранения влияния некоторых протяженных неоднородностей. С помощью уравнения (1), учитывая, что $E = \nabla\phi$, для определения $\rho_0(r, t)$ по распределению б. п. запишем уравнение Пуассона $\Delta\phi(r, t) = \rho_0(r, t)$. При получении этого уравнения не предполагали стационарность распределения, поэтому в сочетании с экспериментами по определению распределения $\sigma(r, t)$ его можно использовать для проверки этого предположения. Определяя $\rho_0(r, t)$ по результатам одномоментных измерений распределения, получим информацию о перестройке электрической активности в объеме мозга с учетом влияния электрически не активной среды, окружающей активные элементы. Решение этой задачи позволяет также выяснить происхождение ритмов ЭЭГ и в результате — повысить информативность классических методов, основанных на их анализе.

Наконец, уравнение (6) позволяет, в принципе, ставить задачу определения $F_{ак}(r, t)$, связанной непосредственно с распределением активных элементов. Для его нахождения необходимо знать распределение проводимости по объему мозга.

Далее рассмотрим восстановление $\rho_0(r, t)$ по частичным измерениям б. п. с помощью уравнения (1). Решение этой задачи не требует предварительной физиологической информации, в то же время позволяет получить сведения о распределении проводимости и распределении источников.

3. Способ измерения распределения биопотенциала в объеме. Восстановление распределения электрической активности по объему мозга в общем случае, если не делается специальных предположений о свойствах источника, требует знания распределения б. п. также в объеме. Обычные методы регистрации ЭЭГ не позволяют получить такую информацию, так как электрический заряд, индуцированный на поверхности кожи (на поверхности, где реализуется большой градиент проводимости), экранирует внутренние источники.

Естественный путь устранения этого препятствия — регистрация б. п. в условиях, когда голова помещена в проводящую среду, например, в соленую воду. Такая среда, очевидно, не влияет на распределение генераторов электрического поля, связанных с функционированием мозга, но в то же время устраняет экранирующее влияние поверхностного заряда, силовые линии электрического поля от внутренних источников выносятся наружу. В результате объем, заполненный проводящей средой, становится в электрическом отношении как бы единым целым с головным мозгом и распределение б. п. в объеме становится доступным для безболезненной регистрации (рис. 1, 1 — проводящая среда; 2 — череп; 3 — мозг).

Для проверки этого способа измерений проводилась регистрация ЭЭГ посредством 8-канального энцефалографа с помощью электродов, расположенных на различных расстояниях от головы (2—5 см; 3—15 см). На расстоянии 20 см (4) амплитуда сигнала уменьшилась на (0,1÷0,2) максимального значения на поверхности головы 1 (рис. 2), что показывает на протяженные источники ЭДС в головном мозге. Следует отметить, что колебания поверхности жидкости, в соответствии с рассмотренными представлениями о роли участков с градиентами проводимости, вызывают колебания б. п. той же частоты, регистрируемые электродом.

Рассмотренная схема эксперимента дает широкий выбор размеров и формы области, в которой можно

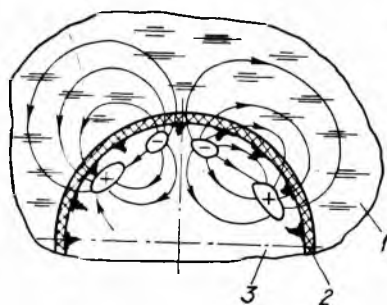


Рис. 1

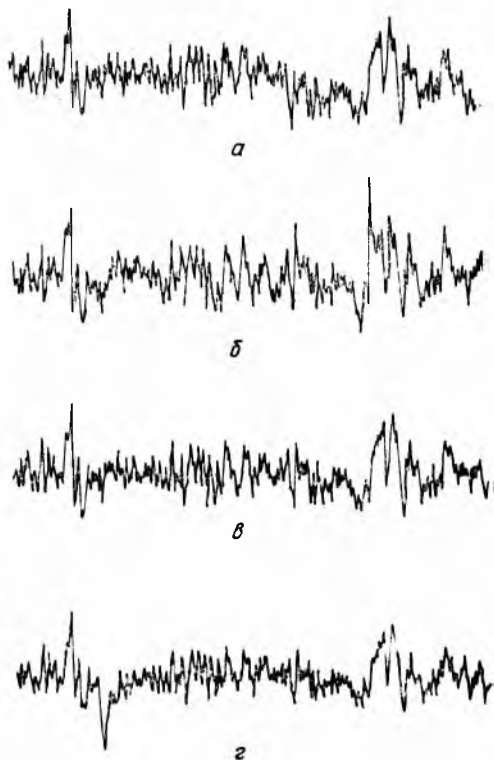


Рис. 2

проводить измерения распределения б. п. При выборе такой области можно учесть как геометрию исследуемой области головного мозга, так и вопросы, связанные с обработкой полученной информации.

4. Алгоритм обработки результатов измерений и проблема неоднозначности. В рассматриваемом способе косвенных измерений плотности источников используется часть информации о распределении б. п. Для практики важно выполнение условия: область, где производится измерение б. п., не перекрывается с областью, где сосредоточены источники. В то же время такой выбор областей усложняет математическую обработку

результатов измерений и особенно анализ получаемых результатов.

Один из способов решения этой задачи состоит из следующих этапов. Вначале в расширенной области D , включающей область измерения б. п. $D_{\text{и}}$ и область, содержащую источники $D_{\text{р}}$, с учетом соответствующих граничных условий строится функция влияния, так что между $\rho(x, y, z)$ и $u(x, y, z)$ можно установить зависимость в виде интегрального уравнения

$$u(x, y, z) = \iiint_{D_{\text{р}}} G(x, y, z; x_1, y_1, z_1) \cdot \rho(x_1, y_1, z_1) dx_1 dy_1 dz_1. \quad (7)$$

Рассмотрим сужение этого оператора, считая, что он отображает функции $\rho(x, y, z)$, заданные в $D_{\text{р}}$, и функции $u(x, y, z)$, заданные в $D_{\text{и}}$. Поскольку все внутренние источники по предположению сосредоточены в $D_{\text{р}}$, это возможно.

Преобразованием координат $x, y, z \in D_{\text{и}}$ область $D_{\text{и}}$ совместим с областью $D_{\text{р}}$ и будем рассматривать интегральное уравнение

$$u_1(x, y, z) = A\rho(x, y, z) = \iiint_{D_{\text{р}}} K_1(x, y, z; x_1, y_1, z_1) \cdot \rho(x_1, y_1, z_1) \times \\ \times dx_1 dy_1 dz_1 \quad (8), \quad \text{где } u_1(x, y, z) \text{ и } K_1(x, y, z; x_1, y_1, z_1) \text{ полу-} \\ \text{чаются из соответствующих функций в (7) в результате преоб-} \\ \text{разований аргументов. В (8) оба аргумента ядра изменяются} \\ \text{уже в одной и той же области.}$$

Решение уравнения (8) можно получить с помощью одного из известных алгоритмов [8]. Трудности при их использовании возникают вследствие возможной неединственности обратной задачи (8).

Неединственность при решении этого уравнения имеет следующую природу.

Поскольку области $D_{\text{р}}$ и $D_{\text{и}}$ не пересекаются, то ядро $K(x, y, z; x_1, y_1, z_1)$ квадратично интегрируемо, и оператор (8) является вполне непрерывным. Операторы такого типа имеют [9, 10] две ортонормированные системы функций v_j и u_j таких, что $Av_j = s_j u_j$; $A^* u_j = s_j v_j$; $j = 1, 2, 3, \dots$, где A^* — интегральный оператор, получающийся из (8) заменой ядра K_1 на сопряженное.

Функции u_j и v_j являются собственными функциями интегральных операторов AA^* и A^*A : $AA^* u_j = s_j^2 u_j$; $A^* A v_j = s_j^2 v_j$, с ядрами, соответственно,

$$K(x, y, z; x_1, y_1, z_1) = \iiint_{D_{\text{р}}} K_1(t_1, t_2, t_3; x, y, z) \cdot K_1(t_1, t_2, t_3; \\ x_1, y_1, z_1) dt_1 dt_2 dt_3; \quad (9)$$

$$K(x, y, z; x_1, y_1, z_1) = \iint_{D_p} \iint_{D_p} K_1(x, y, z; t_1, t_2, t_3) \cdot K_1(x_1, y_1, z_1; \times \\ \times t_1, t_2, t_3) dt_1 dt_2 dt_3.$$

Приближенное решение (8) можно представить в виде ряда [9, 11]:

$$\rho(x, y, z) \cong \sum_{j=1}^{\infty} \frac{f_j}{s_j}; \quad s_j > 0; \quad s_j \rightarrow 0 \text{ при } j \rightarrow \infty, \quad (10)$$

где
$$f_j = (u, u_j) = \iiint_{D_p} u(x, y, z) u_j(x, y, z) dx dy dz$$

с точностью до некоторой функции, принадлежащей нулевому подпространству оператора (8), соответствующему $s_j=0$. При этом свойства нулевого подпространства зависят от размера и расположения области.

Если f_j определяется с ошибкой \bar{f}_j , то в каждом из подпространств в соответствии с (10) получаем ошибку \bar{f}_j/s_j .

Так как ошибка увеличивается с ростом j до каких угодно больших величин, то практически компоненту, соответствующую большим j в (10), приходится отбрасывать или корректировать некоторым произвольным способом априорную информацию и решения. В результате функция $\rho(x, y, z)$ фактически восстанавливается с точностью до проекции на бесконечномерное подпространство, являющееся суммой конечномерного нулевого подпространства оператора A и бесконечного числа подпространств v_j , соответствующих большим j . Поэтому, если измерения проводятся с не очень высокой точностью, то даже при решении задачи (8) единственно необходимым этапом в планировании эксперимента является оценка несущественности отбрасываемого подпространства, или, что то же, убедиться в том, что остающееся конечномерное подпространство отображает существенные с точки зрения экспериментатора особенности восстанавливаемой функции.

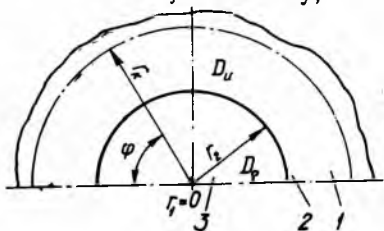


Рис. 3

Такую оценку можно проделать, вычислив достаточное число функций v_j , соответствующих наибольшим s_j .

Эти вычисления можно значительно упростить, если область D выбрать такой, чтобы уравнение на собственные значения оператора Лапласа допускало разделение переменных [11], а области D_p и D_u , ограниченные координатными плоскостями,

совпадали по двум из этих координат (рис. 3). В качестве таких систем координат при исследовании головного мозга человека удобно взять сфероидальные и сферические координаты, как наиболее соответствующие геометрии головы, или евклидовы координаты, позволяющие упрощать обработку результатов за счет использования техники Фурье-анализа. Геометрия областей измерения б. к. и восстановление плотности источников при продолжении интегрального оператора отражены на рис. 3 (1 — проводящая среда; 2 — кожа, 3 — мозг).

Пусть все собственные функции уравнения $\Delta \varphi_{kmn}(r, \theta, \varphi) = \lambda_{kmn} \cdot v_{kmn}(r, \theta, \varphi)$ имеют вид $v_{kmn}(r, \theta, \varphi) = R_k(r) \theta_m(\theta) \Phi_n(\varphi)$ (10), причем каждая из функций $R_k(r)$, $\theta_m(\theta) \cdot \Phi_n(\varphi)$ взаимно ортогональны.

Тогда, как легко проверить, оператор, обратный оператору Лапласа, можно записать в виде

$$G(r, \theta, \varphi; r_1, \theta_1, \varphi_1) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{v_{kmn}(r, \theta, \varphi) v_{kmn}(r_1, \theta_1, \varphi_1)}{\lambda_{kmn}}. \quad (11)$$

Как оператор Лапласа, так и обратный ему оставляет инвариантным подпространство $\theta_m(\theta) \cdot \Phi_n(\varphi)$, переводя функции вида $F_{mn}(r) \cdot \theta_m(\theta) \cdot \Phi_n(\varphi)$ в функции $\chi_{mn}(r) \theta_m(\theta) \Phi_n(\varphi)$ и наоборот. Это позволяет вместо интегрального оператора с ядром (11) рассматривать его проектор на подпространства $\theta_m(\theta) \times \Phi_n(\varphi)$.

Вследствие ортогональности функций $R_k(r)$, $\theta_m(\theta)$, $\Phi_n(\varphi)$, $k, m, n = 1, 2 \dots$ из (11) получаем интегральную зависимость (рис. 3)

$$F_{mn}(r) = \int_{r_1}^{r_k} K_{mn}(r, r_1) \chi_{mn}(r_1) dr_1, \quad (12)$$

где

$$K_{mn}(r, r_1) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{R_k(r) R_k(r_1)}{\lambda_{kmn}}.$$

Рассматривая, как и прежде, оператор (12) как отображение из (r_1, r_2) в (r_2, r_k) (рис. 3) и преобразуя (r_2, r_k) в (r_1, r_2) , получаем для $\chi_{mn}(r)$ одномерное интегральное уравнение, аргументы которого меняются в одном и том же интервале.

Аналогичную зависимость можно получить непосредственно, подставляя уравнение (10) в (11) и вычисляя ядра (9). Решение и анализ этого уравнения можно выполнить, используя, например, метод регуляции [8].

Чтобы определить погрешности восстановления функции $\chi_{mn}(r)$ в зависимости от погрешности функции $F_{mn}(r)$ в рамках метода конечномерной регуляции, можно использовать оценки, приведенные в работе [12].

Список литературы: 1. Эделмен Дж., Маунткэсл В. Разумный мозг. — М.: Мир, 1981. — 135 с. 2. Новожилов В. И., Гнездицкий В. В. Модель распространения медленной электрической активности в головном мозге человека. — В кн.: Тез. докл. на 1-й Всесоюз. конф. по физиологической кибернетике. Ин-т нормальной физиологии. М., 1981, с. 229. 3. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. — М.: Изд-во техн.-теор. лит., 1953. — 679 с. 4. Гейнесман Ю. Я. Структурные и метаболические проявления функции нейрона. — М.: Наука, 1974. — 175 с. 5. Питерс А., Палей С., Уэбстер В. Ультраструктура нервной системы. — М.: Мир, 1972. — 175 с. 6. Новожилов В. И. Определение биопотенциала в коре головного мозга методом аналитического продолжения. — В кн.: Бионика-78. Междунар. конф. стран-членов СЭВ по основным проблемам бионики. М.; Л., 1977, с. 23. 7. Каратаев Г. И., Голыздра Г. Я. Дополнительные главы курса гравитации и магниторазведки. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1966. — 560 с. 8. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1979. — 288 с. 9. Канторович Л. В., Акилов Г. П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. — М.; Л.: Физматгиз, 1959. — 684 с. 10. Интегральные уравнения. Справочная математическая библиотека/П. П. Забрейко, А. И. Кошелев, М. А. Красносельский и др. — М.: Наука, 1968. — 448 с. 11. Морс Ф. М., Фешбах Г. Методы теоретической физики. — М.: Изд-во иностр. лит., 1958. — 930 с. 12. Новожилов В. И. Оценка эффективности косвенного эксперимента и построение модели по косвенным измерениям. — Автоматика и телемеханика, 1975, № 10, с. 43.

Поступила в редколлегию 20.01.82.

УДК 510.62

О бионических частотно-импульсных цифровых моделях Маленченко З. Ю., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 3—6.

Рассмотрены вопросы моделирования непрерывных физических процессов, описываемых линейными дифференциальными и интегральными уравнениями. Получены формулы для некоторых операций над частотно-импульсными кодами функций.

УДК 510.62

О формировании семантических признаков для математической модели префиксального словообразования. Бондаренко М. Ф., Лазаренко О. В. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 6—12.

Описан метод вычисления смысловых оттенков приставок и формирования семантических признаков на множестве полученных оттенков. Вводится набор семантических признаков, полученных для математической модели приставочного словообразования. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

Слово в вычислительной лингвистике. Бондаренко М. Ф., Рублинский В. И. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 12—16.

Рассматриваются существующие определения понятия слова в традиционной и вычислительной лингвистике, приводится определение слова, на основании которого строится алгоритм выделения слова из текста. Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 510.62

О математическом описании смысла текста. Маленченко С. И. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 16—24.

Развит общий подход к математическому описанию смысла текста и отношения между текстом и смыслом. Статья иллюстрируется примерами.

Табл. 3. Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

О математическом моделировании явлений чередования. Осыка А. Ф., Чикина В. А., Чугун А. И. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 24—29.

Рассмотрен один из возможных подходов к моделированию явлений чередования при словоизменении на примере имен существительных русского языка. В качестве математического аппарата моделирования используется алгебра конечных предикатов. Ил. 7. Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.51:007.5

Структурные принципы распознавания геометрических дефектов деталей, движущихся на конвейерной ленте. Путятин Е. П., Абдула В. Г., Уткин Ю. А. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 29—38.

Рассмотрены вопросы распознавания геометрических дефектов деталей. Проанализирована возможность аппаратной реализации дифференциальных операторов, что позволит выделять контурное изображение со скоростью развертки телекамеры. Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 539.3

Об одном методе определения нестационарных температурных полей в пластинках сложного очертания. Гончарюк И. В., Тарасенко М. И. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 39—48.

Предлагается приближенный метод определения нестационарных температурных полей в пластинках сложной формы в плане при конвективном теплообмене на ее поверхности и постоянных теплофизических характеристиках. Рассматриваются три закона изменения температуры по толщине пластины. Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

Об условиях существования линейно-порожденных предикатов на положительном конусе. Шляхов В. В.—Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 49—57.

Найдены необходимые и достаточные условия, при выполнении которых произвольная динамическая система описывается набором интегралов со строго положительными ядрами. Полученные свойства поддаются экспериментальной проверке и образуют независимый набор. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.34

Программное обеспечение для гибридного моделирования процесса подготовки спортсменов. Сенченко Н. И., Космачевский Г. В., Танянский С. Ф. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 57—64.

Рассматриваются вопросы, связанные с созданием программного обеспечения для моделирования процесса подготовки спортсменов на гибридных вычислительных системах. Библиогр.: 4 назв.

УДК 62.506.2

Принципы проверки семантической правильности естественных языковых высказываний. Головина Е. А., Колмычек К. Н., Терзиян В. Я. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 64—72.

Рассматривается проблема семантического анализа естественных языковых высказываний. Предложены принципы анализа различных классов противоречий в естественных языковых высказываниях. Семантический анализ рассмотрен на различных этапах. Библиогр.: 3 назв.

УДК 62.506.2

Применение цифрового нелинейного преобразования для классификации радионейрограмм. Кривуля Г. Ф., Бабкин Е. В. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 72—77.

Рассматривается методика автоматической классификации медицинских кривых при радиоизотопных методах исследования почечных заболеваний. Предложено пространство признаков решения задачи классификации и разработана программа для ЭВМ ЕС-1033. Приведены результаты машинной классификации радионейрограмм. Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 681.31

Об одном подходе к минимизации аппаратных затрат в микропрограммных автоматах. Какурин Н. Я., Кирьяков Ю. К., Кургузикова С. В., Почтовая И. Г. — Пробл. бионики, 1984, вып. 32, с. 78—86.