

007(06)
П 72

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

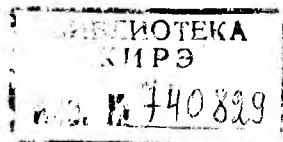
ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник

Основан в 1968 г.



ВЫПУСК 52



Харків

Харківський державний технічний університет радіоелектроніки

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*. Рассматриваются: математические модели естественного интеллекта; теория и представление знаний; машинная лингвистика; математическое обеспечение ЭВМ; теория нейронных сетей; теория принятия решений; применение бионики интеллекта в системах искусственного интеллекта.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНИКИ ІНТЕЛЕКТУ*. Розглядаються: математичні моделі природного інтелекту; теорія та подання знань; машинна лінгвістика; математичне забезпечення ЄОМ; теорія нейронних мереж; теорія прийняття рішень; застосування біоники інтелекту у системах штучного інтелекту.

Для викладачів вузів, наукових робітників та фахівців.

The journal publishes articles on the *BIONICS OF INTELLIGENCE*. The topics considered are: mathematical models of natural intellect, theory and overview of knowledge, computer linguistics, mathematical support of computer, neural networks theory, decision-making theory, the bionics of intelligence in artificial intelligence systems.

The issue intended for university teachers, research workers and specialists.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М.Ф.Бондаренко* (гл. ред.); д-р техн. наук, проф. *Ю.П.Шабанов-Кушнарченко* (отв. ред.); канд. техн. наук *В.А.Чикина* (зам. отв. ред.); д-р техн. наук, проф. *Н.Н.Буслик*; д-р техн. наук, проф. *Т.К.Винцюк*; канд. техн. наук, доц. *З.В.Дударь*; д-р техн. наук, проф. *А.В.Королев*; д-р техн. наук, проф. *А.А.Павлов*; д-р техн. наук, проф. *Е.П.Путятин*; д-р техн. наук, проф. *А.А.Рось*; д-р техн. наук, проф. *И.Б.Сироджа*; д-р техн. наук, проф. *А.Д.Тевяшев*; д-р техн. наук, проф. *И.Г.Филиппенко*; д-р техн. наук, проф. *О.Н.Фоменко*; д-р техн. наук *С.Ю.Шабанов-Кушнарченко*; д-р физ.-мат. наук, проф. *М.М.Шлезингер*; д-р физ.-мат. наук, проф. *С.В.Яковлев*.

Ответственный за выпуск канд. техн. наук *В.А.Чикина*

Рекомендовано Ученым советом Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники.

Протокол № 27 от 24.11.2000

Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам.

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков-166, просп. Ленина, 14, Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники (ХТУРЭ), тел. 40-94-46

УДК 681.324

И. Б. СИРОДЖА, И. И. СИРОДЖА, Б. БАР

МОДЕЛИ И ФОРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ МАШИННОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНЫМИ КВАНТАМИ ЗНАНИЙ

Был предложен метод вероятных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод) для знаниеориентированного принятия решений в условиях α -неопределенности, основанный на идее моделирования процессов человеческого вывода заключений путем логических причинно-следственных рассуждений [1, 2]. Благодаря автоматизированной структуризации разноуровневых по сложности утверждений (знаний) в форме вероятных квантов (νk -знаний) ВАКЗ-метод обеспечивает множественную, векторно-матричную и конечно-предикатную формализацию ВАКЗ-моделей в инженерии знаний [2].

Специфика векторно-матричного представления разноуровневых νk -знаний в описанном в [1] классе M_ν ВАКЗ-моделей состоит в возможности выполнения над ν -квантами операций алгебры множеств, проверки отношений, которые в терминах алгебры логики легко реализуются на ЭВМ векторными и покомпонентными операциями конъюнкции (\wedge), дизъюнкции (\vee) и отрицания ($\bar{}$). Возложим разработанные модели и формальные процедуры машинного преобразования νk -знаний, а также сформулируем и докажем необходимые утверждения для обоснования введенных процедур.

Постановка задачи

Требуется разработать некоторую машинную алгебру, позволяющую просто и адекватно производить арифметические и логические операции над разноуровневыми νk -знаниями, выяснять логическое следование одного ν -кванта из другого, а также редуцировать и минимизировать νk -знания исключительно в рамках логико-арифметических действий над доменами и их компонентами.

Для решения поставленной задачи введем следующие ограничения и обозначения. Прежде всего, для разноуровневых ν -квантовых структур из класса M_ν будем применять покомпонентные операции алгебры логики только над символами "0" и "1" в доменах ν -квантов в целях определения пересечения, объединения, дополнения νk -знаний как множественных ВАКЗ-моделей в пространстве $\tilde{X}^{(N)}$, а также для распознавания отношений " \in " и " \subseteq " между ними. При этом для упрощения выражений без содержательного ущерба игнорируем символами и значениями показателей достоверности (ПД) p_i^j i -й компоненты j -го домена, оставляя лишь разделитель "|" возле "1"-чной компоненты.

Арифметические операции "+", "-" и "•" будем выполнять исключительно над величинами ПД p_i^j при вычислении общих ПД в ν -квантах по предварительно ортогонализированным логическим функциям соответствующих предикатных ВАКЗ-моделей. При этом логические операции " \vee ", " \wedge " в ортогональной дизъюнктивной нормальной форме (ОДНФ) заменяются соответственно арифметическими "•", "+", а элементы конъюнктов вида \bar{a} заменяются выражением

$$(1 - p_i^j(\mathbf{a})), (i = \overline{1, r_j}; j = \overline{1, n}).$$

Обозначим через $E(\tilde{Y}_e)$, $E(\tilde{Y})$, $E(\|\tilde{Y}_e\|)$ и $E(\|\tilde{Y}\|)$ характеристические множества в пространстве $\tilde{X}^{(N)}$ [1, 2] ВАКЗ-моделей, на которых определены, соответственно: элемен-

тные νk -знания $\nu k_1 Y_e$; интервальные – $\nu k_1 Y$; матрично-элементные – $\nu k_2 \|Y_e\|$ и матрично-интервальные – $\nu k_2 \|Y\|$. Кроме этого, в домензированной двоичной матрице $E(\|\tilde{Y}\|)$ столбцовые домены будем обозначать через D_j ; отдельные столбцы – через D_{jk} ; строки в доменах – через D_i^j , а их компоненты – через D_i^{jk} .

В терминах приведенных обозначений синтезируем конкретные модели и операции над νk -знаниями с доказательством их правомерности.

Логические операции и некоторые отношения над νk -знаниями.

По аналогии с логическими операциями над t -квантами [3] введём следующие определения.

Определение 1. ν -квант $\nu k_1 Y$, в котором по крайней мере один домен полностью заполнен нулями, называется δ -квантом и обозначается $\delta \nu k$.

В частном случае, когда все домены заполнены нулями, получим так называемый 0-квант, который обозначим $0k$

Определение 2. ν -квант знаний $\nu k_1 B$ логически следует из ν -кванта $\nu k_1 A$, т. е.

$$(\text{посылка}) \nu k_1 A \rightarrow \nu k_1 B \text{ (заключение),}$$

если выполнено отношение $E(\tilde{B}) \subseteq E(\tilde{A})$.

Аналогично: $\nu k_2 \|S\| \rightarrow \nu k_1 C$, если $E(\tilde{C}) \subseteq E(\|\tilde{S}\|)$,

$\nu k_2 \|S\| \rightarrow \nu k_2 P$, если $E(\tilde{P}) \subseteq E(\|\tilde{S}\|)$.

В этом определении $E(\tilde{A})$, $E(\tilde{C})$, $E(\|\tilde{P}\|)$, $E(\|\tilde{S}\|)$ – характеристические множества соответствующих конечно-предикатных ДНФ (т. е. множества корней предикатных уравнений, выраженных в дизъюнктивных нормальных формах).

Определение 3. Отрицанием ν -кванта $\nu k_1 A$ называется ν -квант $\nu k_1 N = \neg \nu k_1 A$, полученный из $\nu k_1 A$ путем инверсии его компонент $D_A^{jk} : \forall j \forall k (D_N^{jk} = \neg D_A^{jk})$.

Определение 4. Конъюнкцией ν -квантов $\nu k_1 A$ и $\nu k_1 B$ называется ν -квант $\nu k_1 C = \nu k_1 A \wedge \nu k_1 B$, образованный покомпонентной конъюнкцией $\forall j \forall k (D_C^{jk} = D_A^{jk} \wedge D_B^{jk})$.

Определение 5. Дизъюнкцией ν -квантов $\nu k_1 A$ и $\nu k_1 B$ называется ν -квант $\nu k_1 C = \nu k_1 A \vee \nu k_1 B$, образованный покомпонентной конъюнкцией $\forall j \forall k (D_C^{jk} = D_A^{jk} \vee D_B^{jk})$.

Определение 6. ν -кванты $\nu k_1 A$ и $\nu k_1 B$ называются смежными по переменной x_j ($j = \overline{1, n}$), если выполняется условие $D_A^j \vee D_B^j \neq D_A^j \neq D_B^j$, $D_A^{jk} \vee D_B^{jk} \neq D_B^j$, $D_B^j \neq 0$, $D_A^j \neq 0$.

Определение 7. Условной дизъюнкцией ν -квантов $\nu k_1 A$ и $\nu k_1 B$ по переменной x_m называется квант $\nu k_1 L = \nu k_1 A \vee_{x_m} \nu k_1 B$, доменные строки которого определяются по формуле

$$\forall j = \overline{1, n}; D_L^j = \begin{cases} D_A^j \vee D_B^j, j = m, \\ D_A^j \wedge D_B^j, j \neq m. \end{cases}$$

Для определения в дальнейшем операторов манипулирования ν -квантами знаний важным является понятие принадлежности одного ν -кванта другому. Приведём некоторые вспомогательные утверждения и докажем их.

Известно [1, 2], что ν -кванты знаний геометрически интерпретируются точками (элементные ν -кванты) либо множеством точек (интервальные ν -кванты) в многомерном пространстве $\tilde{X}^{(N)}$. Кроме того, по определению νk -знания одновременно обладают свойствами множеств и предикатов, вследствие чего допустимо выполнение над ν -квантами операций алгебры множеств и булевой алгебры.

Лемма 1. *Элементный ν -квант знаний $\nu k_1 Y_e$ принадлежит интервальному кванту $\nu k_1 Y$, т. е. $\nu k_1 Y_e \in \nu k_1 Y$ тогда и только тогда, когда $\bigvee \nu k_1 Y \wedge \nu k_1 Y_e = 0k$.*

Доказательство

Необходимость. Пусть $\nu k_1 Y_e \in \nu k_1 Y$. Это означает, что $E(\tilde{Y}_e) \subseteq E(\tilde{Y})$. Тогда $\overline{E(\tilde{Y})} \cap E(\tilde{Y}_e) = \emptyset$, а это равнозначно записи $\bigvee \nu k_1 Y \wedge \nu k_1 Y_e = 0k$.

Достаточность. Пусть выполняется условие $\bigvee \nu k_1 Y \wedge \nu k_1 Y_e = 0k$, что соответствует $\overline{E(\tilde{Y})} \cap E(\tilde{Y}_e) = \emptyset$. Следовательно, $E(\tilde{Y}_e) \subseteq E(\tilde{Y})$, т. е. $\nu k_1 Y_e \in \nu k_1 Y$.

Лемма 1 доказана.

Например, ν -квант

$$\nu k_1 Y_e = [1|00:1|1|00:1|0:1|00] \in \nu k_1 Y = [1|1|0:1|1|01:1|0:1|01], \text{ т.к.}$$

$$\bigvee \nu k_1 Y \wedge \nu k_1 Y_e = [001|:001|0:01|:01|0] \wedge [1|00:1|1|00:1|0:1|00] = 0k \text{ по лемме 1.}$$

Лемма 2. *Интервальный квант $\nu k_1 A$ содержится в интервальном кванте $\nu k_1 B$, то есть $\nu k_1 A \subseteq \nu k_1 B$ тогда и только тогда, когда $\bigvee \nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = 0k$.*

Доказательство.

Необходимость. Пусть $\nu k_1 A$ содержится в $\nu k_1 B$. Это означает, что $E(\tilde{A}) \subseteq E(\tilde{B})$. Тогда $\overline{E(\tilde{B})} \cap E(\tilde{A}) = \emptyset$, а это равнозначно записи $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = 0k$.

Достаточность. Пусть выполняется условие $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = 0k$, что соответствует $\overline{E(\tilde{B})} \cap E(\tilde{A}) = \emptyset$, Следовательно, $\nu k_1 A \subseteq \nu k_1 B$, т. е. $\nu k_1 A$ содержится в $\nu k_1 B$.

Лемма 2 доказана.

Например, ν -квант

$$\nu k_1 A = [01|001|:1|01|:1|1|:1|1|00] \subseteq \nu k_1 B = [1|1|001|:1|1|1|:1|1|:1|1|01], \text{ так как,}$$

$$\begin{aligned} \nu k_1 B \wedge \nu k_1 A &= [001|1|0:000:00:001|0] \wedge [01|001|:1|01|:1|1|:1|1|00] = \\ &= [00000:000:00:0000] = 0k_1 \text{ по лемме 2.} \end{aligned}$$

Лемма 3. *Интервальный ν -квант $\nu k_1 A$ не пересекается с интервальным ν -квантом $\nu k_1 B$, т. е. $\nu k_1 B \cap \nu k_1 A = \emptyset$ тогда и только тогда, когда $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = \delta \nu k$.*

Доказательство.

Необходимость. Пусть интервальный ν -квант $\nu k_1 A$ не пересекается с интервальным ν -квантом $\nu k_1 B$, т. е. $E(\tilde{A}) \cap E(\tilde{B}) = \emptyset$. Следовательно $\nu k_1 A \wedge \nu k_1 B = 0k$ или в общем случае $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = \delta \nu k$.

Достаточность. Пусть выполняется условие $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = \delta \nu k$. Следовательно,

$E(\tilde{A}) \cap E(\tilde{B}) = \emptyset$, а это означает, что интервальный ν -квант $\nu k_1 A$ не пересекается с интервальным ν -квантом $\nu k_1 B$. Лемма 3 доказана.

Например, ν -квант $\nu k_1 A = [01|1|00:01|01]$ не пересекается с ν -квантом $\nu k_1 B = [01|0:01|1|1|00]$, так как, $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 A = [01|0:00:01|00] = \delta \nu k$, и не пересекается с квантом $\nu k_1 C = [1|0:01|1|1|000]$, потому, что $\nu k_1 B \wedge \nu k_1 C = [00:000:0000] = 0k_1 \subseteq \delta \nu k$ по лемме 3.

Определение 8. Интервал $\tilde{Y} \subseteq \tilde{X}^{(N)}$ называется минимальным и содержащим заданную совокупность элементов $\tilde{Y}_{ei} \subseteq \tilde{X}^{(N)}$, если не существует другого интервала, содержащего указанные элементы.

Лемма 4. Минимальный интервал \tilde{Y} , содержащий заданную совокупность элементов $\{\tilde{Y}_{e1}, \dots, \tilde{Y}_{em}\}$ представляется интервальным ν -квантом знаний

$$\nu k_1 Y = \nu k_1 Y_{e1} \vee \dots \vee \nu k_1 Y_{em} = \bigvee_{i=1}^m \nu k_1 Y_{ei}.$$

Доказательство.

Действительно, применив операцию дизъюнкции " \vee " к совокупности элементных ν -квантов, получим интервал, содержащий заданную совокупность элементов. Этот интервал минимальный в силу определения 8, так как нельзя построить другого интервала, содержащего тот же набор элементных квантов.

Лемма 4 доказана.

Например, совокупность элементов $\tilde{Y}_{e1}, \tilde{Y}_{e2}, \tilde{Y}_{e3}, \tilde{Y}_{e4} \in \tilde{X}^{(N)}$: $\tilde{Y}_{e1} = [01|0:1|0:1|000]$, $\tilde{Y}_{e3} = [1|00:1|0:1|000]$, $\tilde{Y}_{e2} = [01|0:1|0:01|00]$, $\tilde{Y}_{e4} = [1|00:01|0:01|00]$ содержится в минимальном интервале $\tilde{Y} = \{[01|0:1|0:1|000], [01|0:1|0:01|00], [1|00:1|0:1|000], [1|00:01|0:01|00]\} = \nu k_1 Y = [1|1|0:1|1|1|00]$ не существует меньшего интервала и содержащего заданную совокупность ν -квантов, так как $\nu k_1 Y = [01|0:1|0:1|000] \vee [01|0:1|0:01|00] \vee [1|00:1|0:1|000] \vee [1|00:01|0:01|00] = [1|1|0:1|1|1|00]$ по лемме 4.

Доказанные леммы 1-4 необходимы для обоснования методики синтеза информационной технологии принятия знаниеориентированных решений, публикуемой в следующей работе.

Определение 9. Конъюнкцией (дизъюнкцией) разноуровневых квантов $\nu k_2 \| A \|$ и $\nu k_1 \| B \|$ называется ν -квант $\nu k_2 \| C \| = \nu k_2 \| A \| \wedge (\vee) \nu k_1 B$, полученный из матрицы $\| A \|$ путем покомпонентной конъюнкции (дизъюнкции) каждой ее строки D_{iA} с вектором-строкой D_B : $\forall i \forall j \forall k (D_{iC}^{jk} = D_{iA}^{jk} \wedge (\vee) D_{iB}^{jk})$.

При решении базовых задач B_ν - и C_ν -задач [1-2] часто возникает задача редуцирования (преобразования) системы базовых $\nu \sum$ разноуровневых νk -знаний по известному кванту $\nu k_1 A_\omega$. Физический смысл оператора редуциации: выделение из системы $\nu \sum$ и упрощение только тех ν -квантов, которые имеют отношение к $\nu k_1 A_\omega$. Другими словами, выявляются некоторые новые знания $\nu \sum^*$ об объекте ω , локализованные в интервале $\tilde{A} \in \tilde{X}^{(N)}$, которо-

му отвечает $vk_1 A_{\omega}$. Нахождение vk -знаний $v\Sigma^*$ s -го уровня ($s = 0, 1, 2$) путем редукции vk -знаний 1-го или 2-го уровня $v\Sigma$, например, по наблюдаемым vk -знаниям $vk_1 A$ будем осуществлять оператором редукции с алгоритмом \mathbf{A} вида

$$vk_s \Sigma^* = RED(vk_s \Sigma; \mathbf{A}; vk_1 A).$$

Операторы традукции, индукции и дедукции vk -знаний

Опишем ВАКЗ-модели операторов традуктивного, индуктивного и дедуктивного вывода разноуровневых vk -знаний.

Определение 10. Оператором традукции (сокращенно – T -оператором)

$T(p; \mathbf{A}_i; s) = p \xrightarrow{\mathbf{A}_i} s$ для вывода заключительного vk -знания s из посылочного p называется

алгоритм \mathbf{A}_i , по которому реализуется традуктивный вывод по принципу "от частного к частному" любого из логических следствий:

$$\begin{aligned} vk_1 A \xrightarrow{\mathbf{A}_1} vk_1 \beta_i^{jk}; vk_1 A \xrightarrow{\mathbf{A}_2} vk_1 Y_e; vk_2 \parallel A \parallel \xrightarrow{\mathbf{A}_3} vk_1 Y_e; \\ vk_1 A \xrightarrow{\mathbf{A}_4} vk_1 B; vk_2 \parallel S \parallel \xrightarrow{\mathbf{A}_5} vk_1 C; vk_2 \parallel C \parallel \xrightarrow{\mathbf{A}_6} vk_2 \parallel P \parallel. \end{aligned}$$

Определение 11. Индуктивным выводом vk -знаний называется алгоритмический процесс построения базы vk -знаний ($Bvk3$) на основе использования объективных примеров обучающих знаний $vk_2 \Sigma_0$ из заданной предметной области, отвечающий принципу "от частного к общему" и определению 2.

Формальная модель индуктивного вывода vk -знаний посредством специального алгоритма $A1$ имеет вид

$$IND(vk_2 \Sigma_0; A1; Bvk3) = vk_2 \Sigma_0 \xrightarrow[A1]{IND} Bvk3,$$

где в качестве $Bvk3$ может быть система имплицативных закономерностей (запретов) в форме $vk_2 \bar{\Sigma}_B$ либо оперативная система функциональных закономерностей в форме v -квантовой сети вывода решений (v -КСВР), выполняющей роль оперативной $Bvk3$ [2].

Определение 12. Дедуктивным выводом vk -знаний называется алгоритмический процесс нахождения отвечающих определению 2 логических v -квантовых следствий из базы vk -знаний с помощью алгоритмов $\alpha_i, (i = 1, 2, 3, \dots)$:

$$\begin{aligned} Bvk3 \xrightarrow{\alpha_1} vk_0 \beta_i^{jk}; Bvk3 \xrightarrow{\alpha_2} vk_1 Y_e; Bvk3 \xrightarrow{\alpha_3} vk_1 Y; \\ Bvk3 \xrightarrow{\alpha_4} vk_2 \parallel P \parallel \end{aligned}$$

по принципу от "общего к частному" [2].

Формальная модель оператора дедуктивного вывода vk -знаний имеет вид

$$DED(Bvk3, vk_1 Y_{\omega}; \alpha_i; vk_s R) = Bvk3 \xrightarrow[vk_1 Y_{\omega}; \alpha_i]{DED} vk_s R,$$

где $\nu k_1 Y_\omega$ – ν -квант наблюдаемых знаний об ОПР ω , относительно которых выводится с помощью алгоритма αi , ($i \in \{1, 2, 3, \dots\}$) искомое решение в форме νk -знаний s -го уровня ($s \in \{0, 1, 2\}$).

Выводы

Разработаны математические модели и процедуры машинного преобразования вероятных квантов знаний, а также сформулированы и доказаны необходимые обосновывающие утверждения. Введенные процедуры представляют собой машинную алгебру, позволяющую просто и адекватно производить арифметические и логические операции над разноуровневыми νk -знаниями, выяснять логическое следование одного ν -кванта из другого, а также редуцировать и минимизировать νk -знания в рамках логико-арифметических действий над доменами и их компонентами.

Список литературы: 1. *Сироджа И.Б., Бар Б., Сироджа И.И.* Принятие решений методом вероятных алгоритмических квантов знаний в интеллектуальных системах управления // "АВТОМАТИКА-2000": Праці Міжнародної конференції. Львів, 2000. Т. 1. С. 18-25. 2. *Сироджа И.Б.* Метод вероятных алгоритмических квантов знаний для принятия решений и создания технологий искусственного интеллекта // Інформаційні технології і системи. 2000. № 4. С. 58-79. 3. *Сироджа И.Б.* Теория и новая информационная технология принятия производственных решений на основе инженерии знаний // Інформатизація та нові технології. 1996. № 3. С. 6-10.

Поступила в редколлегию 2.11.2000

УДК 519.7

Д. О. КОЛЕСНИКОВ, С. А. ПОСЛАВСКИЙ, Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ**Введение**

Одной из важных задач теории интеллекта является задача идентификации понятий логики. Такая идентификация состоит из нескольких частей. Изначально, логическому понятию, соответствующим образом, сопоставляем некоторый предикат, заданный на определенной области определения. Потом определяем некоторую совокупность свойств, которые бы определяли это понятие, или, иными словами, находим некоторую аксиоматическую характеристику предиката, соответствующего данному понятию. По возможности, находим несколько аксиоматических характеристик. Они позволяют по-разному взглянуть на структуру идентифицируемого понятия. На заключительном этапе находим общий вид предиката, который извлекаем из некоторой его аксиоматической характеристики. Результаты идентификации понятий логики могут быть широко применены в бионике интеллекта. Также они могут служить в качестве отправной точки для последующей проверки соответствия этих понятий объектам реального мира. Такая проверка необходима для обоснования применения логических понятий при построении математических моделей объектов реального мира и, в частности, объектов физики информационных процессов, что имеет существенное значение для теории интеллекта.

В статье, в качестве идентифицируемых объектов, рассматриваются логические понятия, которыми пользуется в своей работе математик. Предпринята попытка идентификации следующих понятий логики: равенство элементов; равенство множеств; декартово произведение множеств; объединение, пересечение и дополнение множеств; связь между отношениями и отображениями. Формальное описание перечисленных понятий приходится вести, используя в качестве средства описания те же самые логические понятия. В связи с этим возникает опасность совершить ошибку логического круга. Защиту от этой опасности может обеспечить проверка фактической непротиворечивости получаемых результатов идентификации. Поэтому необходим постоянный и тщательный контроль доброкачественности формируемой теории логических понятий всеми доступными исследователю средствами.

Одной из важных мер, обеспечивающих эффективность идентификации, является четкое различие логических понятий, используемых в роли средства и объекта описания. Известный логик Клини во введении к курсу математической логики пишет [1]: “Итак, мы собираемся изучать логику, и притом с помощью математических методов. Но тут мы встречаемся с парадоксом: разве для того, чтобы *изучать* логику с помощью математики (да и вообще любым систематическим методом), нам не придется *пользоваться* самой логикой? Этот парадокс решается просто, но чтобы до конца понять, как это делается, потребуется некоторое время. Основная идея здесь состоит в том, что мы будем тщательно различать логику, которую мы изучаем, и логику, с помощью которой это делается. Но тогда нам придется различать и соответствующие языки: изучаемая нами логика формулируется на некотором языке, который мы будем называть *предметным языком* (или *языком-объектом*), поскольку этот язык так же как и связанная с ним логика – является предметом (объектом) нашего изучения. Язык же, в рамках которого мы исследуем предметный язык (употребляя при этом те логические средства, которые могут понадобиться), мы так и назовем *языком исследователя*. Соответственно можно говорить о *предметной* (или *объектной*) логике и *логике исследователя*. Необходимо все время помнить об этом различии между изучаемой (предметной) логикой и логикой как средством такого изучения (то есть логикой исследователя). Тому, кто не готов к этому, стоит сразу же закрыть эту книгу и подыскать себе другое

занятие по вкусу (скажем, составление шарад или пчеловодство)”. Формальное описание логических понятий будем вести на языке алгебры подстановочных операций [2]. Этот язык достаточно развит для того, чтобы на нем можно было беспрепятственно и в полном объеме описать простейшие логические понятия.

Актуальность идентификации логических понятий на ее начальном этапе зиждется на практической важности математической работы, для которой некоторые из логических понятий являются необходимым средством. На последующих этапах актуальность разработок будет постоянно поддерживаться необходимостью более глубокого обоснования результатов идентификации. Уровень надежности последних будет становиться все более высоким по мере развития теории логических понятий, однако он никогда не сможет достичь абсолютной достоверности. Можно ли на этом пути, дойти до любого конкретного логического понятия, или же некоторые из них окажутся недоступными и поэтому ни на каком этапе не смогут быть идентифицированы? Ответа на этот важный вопрос мы пока не знаем.

Логический инструментарий

Кратко охарактеризуем те логические понятия, которые используются в данной статье в качестве средств идентификации рассматриваемых понятий. Более подробно они описаны в работе [3]. Вводится конечное число m предметных переменных x_1, x_2, \dots, x_m и их значения, которые черпаются из заранее выбранного универсума U . На предметном пространстве, представляющем собой декартову степень U^m универсума, определяются предикаты $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Предикаты записываются формулами алгебры предикатов с базисными элементами в виде предикатов узнавания предмета: $x_i^a = 1 \Leftrightarrow x_i = a, (i = \overline{1, m}, a \in U)$ и базисными операциями дизъюнкции \vee , конъюнкции \wedge и отрицания \neg . Введем ряд сокращений, которые позволят сделать последующее изложение материала более компактным.

Между отношениями и предикатами существует естественная взаимно однозначная связь. Поэтому в дальнейшем будем совершать переходы от отношений к предикатам и обратно, особо их не обговаривая и подразумевая, что из записи будет понятно, где отношение, а где предикат. Произвольному множеству $M \subseteq U$, как отношению, соответствует предикат $M(x)$, где $x \in U$, такой, что $M(x) = 1 \Leftrightarrow x \in M$. Когда квантор берется по предметным переменным, заданным на универсуме, то там, где это приемлемо, универсум в ключе квантора будем опускать. Аналогично, если множество (отношение) включено в универсум (в предметное пространство), то универсум (или его декартову степень) в ключе квантора также будем опускать всюду где это будет удобным. Квантор существования и единственности определяем следующим образом: $\exists! x P(x) = \exists x P(x) \wedge \forall x \forall y (P(x) \wedge P(y) \supset D(x, y))$.

Равенство

Определение равенства не зависит ни от каких вводимых нами логических понятий. Оно опирается только на логический язык, то есть только на инструментальную логику. Поэтому приведем его в первую очередь. Введем предикат равенства P на $U \times U$ условием:

$$\forall x, y \in U (P(x, y) \approx \forall A \subseteq U (A(x) \approx A(y))). \quad (1)$$

Одно это условие образует полную систему аксиом для понятия равенства. В этом определении фигурирует инструментальное равенство в виде логической операции " \approx ". Эта операция представляет собой равенство, заданное на множестве $\{0, 1\}$.

Теорема (об общем виде предиката равенства). Уравнение (1) имеет единственное решение

$$P(x, y) = \exists a \in U(x^a y^a). \quad (2)$$

Доказательство. Для того, чтобы доказать теорему достаточно показать, что $\forall A \subseteq U(A(x) \approx A(y)) = \exists a \in U(x^a y^a)$. Заиндексируем элементы универсума подходящим множеством индексов $I: U = \{a_j\}_{j \in I}$. Произвольному множеству A соответствует множество индексов $I_A \subseteq I$ тех элементов из которых состоит $A: A = \{a_j\}_{j \in I_A}$. В этом случае множеству A будет соответствовать предикат $A(x) = \bigvee_{j \in I_A} x^{a_j}$. Множеству \bar{A} соответствует предикат $\bar{A}(x) = \bigvee_{j \in I \setminus I_A} x^{a_j}$. Проведем несложные выкладки:

$$\begin{aligned} \forall A(A(x) \approx A(y)) &= \forall A(A(x)A(y) \vee \bar{A}(x)\bar{A}(y)) = \\ &= \bigwedge_{I_A \subseteq I} \left(\left(\bigvee_{j \in I_A} x^{a_j} \right) \left(\bigvee_{j \in I_A} y^{a_j} \right) \vee \left(\bigvee_{j \in I \setminus I_A} x^{a_j} \right) \left(\bigvee_{j \in I \setminus I_A} y^{a_j} \right) \right) = \\ &= \bigwedge_{I_A \subseteq I} \left(\bigvee_{i, j \in I_A} x^{a_i} y^{a_j} \vee \bigvee_{i, j \in I \setminus I_A} x^{a_i} y^{a_j} \right) = \exists a \in U(x^a y^a). \end{aligned}$$

В общем виде предиката равенства (2) фигурирует инструментальное равенство в виде предиката узнавания предмета x^a . Следует отметить, что аксиому (1) можно упростить, если квантор общности брать не по всем подмножествам универсума U , а только по одноэлементным:

$$\forall x, y \in U(P(x, y) \approx \forall \xi \in U(x^\xi \approx y^\xi)). \quad (3)$$

Аксиома (3) эквивалентна аксиоме (1) в том смысле, что они обе однозначно определяют предикат равенства (2). После того, как установлена единственность предиката равенства, дадим ему индивидуальное имя $D(x, y)$. Этот предикат является уже предметным предикатом, который с помощью инструментальных средств охарактеризован аксиомами (1) или (3) и выражен в явном виде (2). В качестве полной несократимой системы аксиом для предиката равенства можно предложить так же систему, состоящую из рефлексивности и подстановочности предиката равенства:

$$\forall x \in U P(x, x), \quad (4)$$

$$\forall A \subseteq U \forall x, y \in U(A(x) \wedge P(x, y) \supset A(y)) \quad (5)$$

Для того, чтобы это доказать, достаточно показать, что система (4, 5) определяет предикат равенства и только его, и аксиомы (4 и 5) независимы. Независимость данных аксиом очевидна, так как тождественно ложный предикат удовлетворяет аксиоме (5) и не удовлетворяет аксиоме (4), если же взять тождественно истинный предикат, то ситуация будет обратной, отсюда и следует независимость аксиом. Пусть теперь для некоторого предиката P выполняются аксиомы (4 и 5). Их можно рассматривать как некоторые логические уравнения относительно неизвестного предиката P . Покажем, что единственным решением системы уравнений (4, 5) является предикат равенства (2). Решая уравнение (5) относительно неизвестного P , получим общее решение в виде $P(x, y) = \forall A(A(x) \supset A(y))C(x, y)$, где пре-

дикат $C(x, y)$ выступает в качестве свободного параметра [4]. Для того, чтобы определить предикат C подставим найденное решение в уравнение (4), получим

$$\forall x(\forall A(A(x) \supset A(x))C(x, x) = \forall xC(x, x)),$$

то есть предикат C – должен быть рефлексивным. Выполняя несложные преобразования, окончательно получим

$$\begin{aligned} P(x, y) &= \forall A(A(x) \sim A(y))C(x, y) = (\exists a \in Ux^a y^a) \wedge C(x, y) = \\ &= \exists a \in U(x^a y^a \wedge C(x, y)) = \exists a \in U(x^a y^a \wedge C(a, a)) = \exists a \in Ux^a y^a. \end{aligned}$$

Таким образом система аксиом (4, 5) эквивалентна аксиоме (1) и определяет предикат равенства.

Заметим, что равенство представляет собой частный случай эквивалентности, когда каждый класс эквивалентности содержит только один элемент. Поэтому можно привести следующую аксиоматическую характеристику предиката равенства:

$$\forall xP(x, x); \forall x, y(P(x, y) \sim P(y, x)); \forall x, y, z(P(x, y) \wedge P(y, z) \supset P(x, z)); \quad (6)$$

$$\forall x \exists! yP(x, y) \quad (7)$$

Аксиомы (6) определяют P как эквивалентность, аксиома (7) "отвечает" за одноэлементность классов эквивалентности. Мы получили следующие различные аксиоматические характеристики равенства: (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Декартово произведение

Декартово произведение является одной из основных общематематических конструкций. Оно, как и равенство, опирается только на инструментальную логику. Идентификацию декартова произведения начнем с идентификации понятия упорядоченной пары.

Будем рассматривать некоторый универсум U . Упорядоченная пара, как математическое понятие, вполне определяется двумя свойствами [5]: (*) для любых двух данных предметов $a, b \in U$ существует объект, который можно обозначить $\langle a, b \rangle$, называемый упорядоченной парой a и b и однозначно определяемый предметами a и b ; (**) если $\langle a, b \rangle$ и $\langle b, c \rangle$ – две упорядоченные пары, то $\langle a, b \rangle = \langle c, d \rangle$ в том и только в том случае, когда $a = c$ и $b = d$. В классической математике по разному эксплицируют такое абстрактное определение упорядоченной пары, например, $\langle a, b \rangle = \{\{a\}, \{a, b\}\}$ [6], $\langle a, b \rangle = \{\{a\}, \{b, \emptyset\}\}$ [7] и другие. Запишем предикат, соответствующий понятию упорядоченной пары $\langle a, b \rangle$ следующим образом: для любых $x, y \in U$

$$P(x, y) = x^a y^a \quad (8)$$

Множество, определяемое предикатом (8), является упорядоченной парой по определению, так как оно удовлетворяет необходимым свойствам (*) и (**). Действительно, любые два предмета a и b вполне однозначно определяют упорядоченную пару $\langle a, b \rangle$, так как по ним однозначно записывается предикат (8). Равенство двух пар $\langle a, b \rangle = \langle c, d \rangle$ эквивалентно высказыванию $\forall x, y(x^a y^b \sim x^c y^d)$. После несложных преобразований приходим к следующему результату: $\forall x, y(x^a y^b \sim x^c y^d) = \forall x(x^a \sim x^c) \wedge \forall y(y^b \sim y^d) = D(a, c) \wedge D(b, d)$. То есть $\langle a, b \rangle = \langle c, d \rangle$ тогда и только тогда, когда $a = c$ и $b = d$.

Для любых двух множеств A и B из 2^U их декартовым произведением называется множество $A \times B = \{ \langle a, b \rangle \mid a \in A, b \in B \}$. Предикат, соответствующий последнему множеству, имеет вид $(A \times B)(x, y) = \bigvee_{a \in A, b \in B} x^a y^b = \exists a \in A, b \in B x^a y^b = (\exists a \in A x^a) \wedge (\exists b \in B y^b) = A(x) \wedge B(y)$.

Следовательно, для того, чтобы записать предикат декартова произведения двух множеств из 2^U , достаточно взять конъюнкцию предикатов этих множеств, причем в предикатах должны фигурировать различные переменные. Таким образом, для любых $A, B \subseteq U$

$$(A \times B)(x, y) = A(x) \wedge B(y). \quad (9)$$

Определение (9) может выступать в качестве конструктивного определения декартова произведения двух множеств. Из вышеизложенного следует, что среди предикатов, заданных на U^2 , существуют такие, которые соответствуют декартовому произведению некоторых множеств из 2^U . Совокупность таких предикатов можно задать аксиоматически следующим образом:

$$\forall x, y (P(x, y) \sim (\exists x P(x, y)) \wedge (\exists y P(x, y))). \quad (10)$$

Действительно, если для некоторого двухместного предиката выполняется (10), то $P(x, y) = A(x) \wedge B(y)$, где $A(x) = \exists y P(x, y)$, $B(y) = \exists x P(x, y)$ и $P = A \times B$.

Обратно, пусть $P = A \times B$, тогда $P(x, y) = A(x) \wedge B(y)$, откуда $\exists x P(x, y) = (\exists x A(x)) \wedge B(y)$, $\exists y P(x, y) = A(x) \wedge (\exists y B(y))$.

Если $A, B \neq \emptyset$, то $\exists x P(x, y) = 1 \wedge B(y) = B(y)$, $\exists y P(x, y) = A(x) \wedge 1 = A(x)$ и выполняется (10), в противном случае $P(x, y) \equiv 0$ и для такого предиката аксиома (10) также выполняется. Назовем класс двухместных предикатов, удовлетворяющих аксиоме (10) декартовыми предикатами. Этот класс является подмножеством множества всех двухместных предикатов. Как было показано, тождественно ложный предикат является декартовым предикатом и для любого декартова предиката $P(x, y)$, отличного от тождественно ложного, существует единственным образом определяемая пара предикатов $A(x) = \exists y P(x, y)$ и $B(y) = \exists x P(x, y)$ такая, что $P(x, y) = A(x) \wedge B(y)$. Поэтому справедлива следующая теорема:

Теорема (об общем виде декартова произведения). Для любого ненулевого декартова предиката P , заданного на $U \times U$ существует единственная пара предикатов A и B , заданных на U , таких, что для любых $x, y \in U$ $P(x, y) = A(x) \wedge B(y)$

Исходя из введенного определения (10) можно доказать наиболее широко используемые свойства декартова произведения. Отдельного рассмотрения заслуживает свойство $(A \times B) \times C \neq A \times (B \times C)$. Декартово произведение обладает этим свойством в силу того, что соответствующие предикаты заданы на различных множествах. Если $U^* = U \times U$, то предикат $((A \times B) \times C)(\xi, z)$ задан на $U^* \times U$, а предикат $(A \times (B \times C))(x, \eta)$ задан на $U \times U^*$. Отсюда и следует справедливость постановки знака неравенства. Мы идентифицировали понятие декартова произведения таким, каким оно является по классическому определению множеством упорядоченных пар. Любая математическая конструкция, включающая в себя декартово произведение, в конечном итоге, базируется на понятии упорядоченной пары. Это и служит причиной того, что не выполняется свойство "сочетательности"

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C) \quad (11)$$

так как, его выполнение противоречило бы абстрактному определению упорядоченной пары.

Исходя из результатов идентификации понятия декартова произведения, естественно подойти к следующему его расширению: декартовым предикатом будем называть всякий предикат, представимый в виде конъюнкции двух и более предикатов меньшей размерности с непересекающимися наборами переменных. Для того, чтобы формально описать класс декартовых предикатов как подмножество множества всех многоместных предикатов, необходимо формализовать понятие набора переменных. Такая формализация довольно громоздка, поэтому приводить ее не будем. Укажем только на то, что получаются, как и в случае декартова произведения, конструктивное определение, подобное (9), и аксиоматическое определение, подобное (10). Конструктивное определение декартовых предикатов заключается в следующем. Если дана некоторая система множеств, то, записывая конъюнкцию соответствующих предикатов с непересекающимися наборами переменных, получим предикат, которому соответствует некоторое множество. Таким образом, декартовым предикатам поставлена в соответствие некоторая математическая конструкция которая является расширением понятия декартова произведения. Назовем эту конструкцию конъюнкцией на разных областях.

Существует множество аргументов в пользу того, что человеческий интеллект и сам физический мир имеют конъюнктивную структуру [3]. Исходя из этого, в качестве инструментальных средств для исследования структуры человеческого интеллекта и объектов реального мира должен выступать математический аппарат, соответствующим образом реализующий ее конъюнктивность. Здесь мы сталкиваемся с влиянием предмета описания на выбор инструмента описания. Хотя для описания объекта может быть успешно использован математический аппарат, структура которого далека от соответствия структуре этого объекта [8], тем не менее, преследуя цель познания устройства мира, мы, несомненно, должны отдавать предпочтение инструментальным средствам, которые в максимальной степени согласуются с таким устройством. Использование таких средств должно облегчить понимание особенностей структуры исследуемых объектов, и, в конечном итоге, служить катализатором открытий пока еще не известного. Так как устройство мира конъюнктивно, то для его описания, введенное понятие конъюнкции на различных областях более предпочтительнее, чем декартово произведение, именно в силу того, что последнее понятие в меньшей степени соответствует структуре описываемых с его помощью объектов, чем первое. Конъюнкция на разных областях может быть с успехом использована для описания любых объектов, структура которых ранее записывалась с привлечением классического декартова произведения.

Пример декартова предиката: $P(x, y, z, t) = A(x, y) \wedge B(z) \wedge C(t)$

Принадлежность элемента множеству

Отношение $x \in y$ принадлежности элемента $x \in A$ множеству $y \in B$ формально представляем предикатом $P(x, y)$ на $A \times B$, соответствующим этому отношению: $P(x, y) = 1 \Leftrightarrow x \in y$. Объект y является множеством только в интерпретации. Теперь же это некоторый элемент множества B , совершенно не имеющий какойлибо своей структуры. Избавляться от структуры объектов, подвергаемых идентификации, это общий прием при идентификации объектов. Структура объекта – это как раз то, что мы хотим описать при идентификации. Если мы не освободим объект от структуры, то не сможем его описать. От объекта должно остаться только его имя.

Ниже приводится аксиоматическое определение элемента принадлежности множеству. Оно состоит всего из одного условия, называемого *аксиомой выделения*:

$$\forall M \subseteq A \exists! y \in A (P(x, y) \sim M(x)) \quad (12)$$

Условие (12) связывает три предиката: A , B и P . Множества A и B – это параметры уравнения (12). Смысл аксиомы выделения состоит в следующем. Для каждого подмножества M множества A найдется в точности одно имя $y \in B$, такое что $M(x) = P(x, y)$. Таким образом, предикат $P(x, y)$ присваивает каждому подмножеству M множества A одно имя из числа элементов множества B . Разным множествам предикат P присваивает разные имена. Отсюда следует, что для любого предиката принадлежности P на $A \times B$ должно выполняться соотношение следующее соотношение между мощностями:

$$|B| = |2^A|. \quad (13)$$

Очевидно, что справедлива следующая теорема

Теорема (о связи множеств и их имен). Пусть A некоторое множество, 2^A – система всех подмножеств множества A , B – система имен всех подмножеств множества A . Тогда каждому предикату принадлежности P на $A \times B$ однозначно соответствует некоторое биективное отображение $\varphi: 2^A \rightarrow B$.

Согласно этой теореме, отношение принадлежности P каждому множеству ставит в соответствие в точности одно имя. В этом и только этом заключается роль отношения принадлежности: давать каждому множеству свое имя. Условие (12) можно рассматривать как абстрактное определение понятия принадлежности элемента множеству, отношения принадлежности $x \in y$ на $A \times B$. Аксиома выделения определяет не один, а много предикатов принадлежности. Каждому такому предикату соответствует своя биекция φ . Предикат принадлежности связан с соответствующим ему отношением принадлежности равносильностью: $P(x, y) = 1 \Leftrightarrow x \in y, x \in A, y \in B$. Принадлежность связывает элемент не с множеством, а с именем множества. Множества это семантическая категория и им нет места в синтаксисе алгебры предикатов. Множества находятся за пределами формализма. Только решение логических уравнений дает множества.

Очевидно, что справедлива следующая теорема:

Теорема (об общем виде предиката принадлежности). При любых $x \in A$ и $y \in B$ предикат принадлежности P выражается в виде:

$$P(x, y) = \exists M \subseteq A (M(x) y^{\varphi(M)}), \quad (14)$$

где φ – некоторое биективное отображение 2^A на B .

Теорема (об изоморфности предикатов принадлежности). Пусть P на $A \times B$ и P' на $A' \times B'$ предикаты принадлежности и $|A| = |A'|$. Тогда для любой биекции $\varphi: A \rightarrow A'$ существует биекция $\psi: B \rightarrow B'$, такая что для всех $x \in A$ и $y \in B$ $P(x, y) = P'(\varphi(x), \psi(y))$.

Доказательство. Запишем абстрактно предикаты P и P' :

$$P(x, y) = \exists M \subseteq A (M(x) y^{\varphi(M)}), \quad P'(\xi, \eta) = \exists L \subseteq A' L(\xi) \eta^{\psi'(L)}.$$

Зададимся произвольной биекцией $\varphi: A \rightarrow A'$ и некоторой, пока еще не определенной, биекцией $\psi: B \rightarrow B'$. В этом случае можно записать

$$P'(\xi, \eta) = P'(\varphi(x), \psi(y)) = \exists L \subseteq A' L(\varphi(x)) \psi(y)^{\psi'(L)}.$$

Построим отображение $\Phi: 2^A \rightarrow 2^{A'}$ следующим образом: для любого $M \in 2^A$ $\Phi(M) = \{\varphi(a) \mid a \in M\}$. Очевидно, что Φ – является биективным отображением, и для любых $L \in 2^{A'}$, $M \in 2^A$ $L = \Phi(M)$ тогда и только тогда, когда $\forall x \in A (L(\varphi(x)) \sim M(x))$. Отсюда следует, что $P'(\varphi(x), \psi(y)) = \exists M \subseteq A M(x) \psi(y)^{\psi'(\Phi(M))}$.

Биекцию $\psi: B \rightarrow B'$ определим из соотношения $\forall M \subseteq A \forall y \in B (y^{\wp(M)} \sim \psi(y)^{\wp'(\Phi(M))})$, которое равносильно соотношению $\forall M \subseteq A (\psi(\wp(M)) \sim \wp'(\Phi(M)))$. Полагая $\wp(M) = b \in B$, получаем $\forall b \in B \psi(b) = \wp'(\Phi(\wp^{-1}(b)))$. То есть отображение ψ однозначно определяется отображением \wp . Теорема доказана.

Теорема означает, что при фиксированной мощности множества A все принадлежности на $A \times B$ при любых A и B будут в абстрактном смысле одинаковы. Из этой теоремы непосредственно вытекает

Следствие. Любые два предиката принадлежности P на $A \times B$ и P' на $A \times B'$ связаны зависимостью $P(x, y) = P(x, \psi(y))$, где $\psi: B \rightarrow B'$ биекция.

Теорема (о равенстве элементов). Предикат $D_A(x_1, x_2)$ на $A \times A$, определяемый условием

$$\forall x_1, x_2 \in A (D_A(x_1, x_2) \sim \forall y \in B (P(x_2, y) \sim P(x_1, y))) \quad (15)$$

является предикатом равенства на A при любом выборе множеств A и B , связанных условием $|B| = 2^{|A|}$, и произвольном выборе предиката принадлежности P .

Доказательство. Для любого предиката принадлежности P на $A \times B$ и любых $x_1, x_2 \in A$, $y \in B$ справедливо $P(x_1, y) \sim P(x_2, y) = (x_1 \in M) \sim (x_2 \in M) = M(x_1) \sim M(x_2)$, где M – множество, которому предикат P присваивает имя y . Отсюда следует, что определение (15) предиката D_A совпадает с определением предиката равенства

$$\forall x_1, x_2 \in A (D_A(x_1, x_2) \sim \forall M \subseteq A (M(x_1) \sim M(x_2))).$$

Теорема доказана.

Иными словами, общее решение логического уравнения (15) имеет вид:

$$D_A(x_1, x_2) = \exists a \in A (x_1^a, x_2^a).$$

Видно, что это решение не зависит от выбора предиката P и множества B . Условие (15) можно принять в качестве абстрактного определения понятия равенства элементов.

Теорема (о равенстве множеств). Предикат $D_B(x_1, x_2)$ на $B \times B$, определяемый условием

$$\forall y_1, y_2 \in B (D_B(y_1, y_2) \sim \forall x \in A (P(x, y_1) \sim P(x, y_2))), \quad (16)$$

является предикатом равенства на B при любом выборе множеств A и B , связанных условием $|B| = 2^{|A|}$, и произвольном выборе предиката принадлежности P .

Условие (16) представляет собой ни что иное, как известную аксиому объемности теории множеств [6]. Содержательно, эту аксиому можно озвучить следующим образом: два множества совпадают тогда и только тогда, когда совпадают их элементы. Из теоремы следует, что общее решение логического уравнения (16) имеет вид: $D_B(y_1, y_2) = \exists b \in B (y_1^b, y_2^b)$. Видно, что это решение не зависит от выбора предиката P и множества A . Условие (16) можно принять в качестве абстрактного определения понятия равенства множеств. Таким образом, мы формально описали понятие равенства множеств, являющихся подмножествами произвольно взятого множества A .

Теоретико-множественные операции

Введем аксиоматически предикаты, соответствующие понятиям теоретикомножественных операций объединения, пересечения и дополнения множеств. Будем рассматривать не-

которое множество A и множество B , которое интерпретируем как систему имен подмножеств из A . Множества A и B должны быть согласованы по мощности: $|B| = 2^{|A|}$. Зададимся некоторым предикатом принадлежности $P(x, y)$ на $A \times B$.

Вводим предикат $R(y_1, y_2, y_3)$ на B^3 , называемый предикатом объединения, который содержательно понимаем как операцию объединения множеств:

$$R(y_1, y_2, y_3) = 1 \Leftrightarrow Y_1 \cup Y_2 = Y_3,$$

где Y_1, Y_2, Y_3 – множества, имеющие, соответственно, имена y_1, y_2, y_3 . Аксиоматическая характеристика предиката R будет следующая:

$$\forall y_1, y_2, y_3 \in B (R(y_1, y_2, y_3) \sim \forall x \in A ((P(x, y_1) \vee P(x, y_2)) \sim P(x, y_3))) \quad (17)$$

Вводим предикат $S(y_1, y_2, y_3)$ на B^3 , называемый предикатом пересечения, который содержательно понимаем как операцию пересечения множеств:

$$S(y_1, y_2, y_3) = 1 \Leftrightarrow Y_1 \cap Y_2 = Y_3,$$

где Y_1, Y_2, Y_3 множества, имеющие, соответственно, имена y_1, y_2, y_3 . Аксиоматическая характеристика предиката S будет следующая:

$$\forall y_1, y_2 \in B (T(y_1, y_2) \sim \forall x \in A (\bar{P}(x, y_1) \sim P(x, y_2))). \quad (18)$$

Вводим предикат $T(y_1, y_2)$ на B^2 , называемый предикатом дополнения, который содержательно понимаем как операцию дополнения множеств: $T(y_1, y_2, y_3) = 1 \Leftrightarrow \bar{Y}_1 = Y_2$, где Y_1 и Y_2 множества, имеющие, соответственно, имена y_1 и y_2 . Аксиоматическая характеристика предиката T будет следующая:

$$\forall y_1, y_2 \in B (T(y_1, y_2) \sim \forall x \in A (\bar{P}(x, y_1) \sim P(x, y_2))) \quad (19)$$

Теорема (о функциональности предикатов объединения, пересечения и дополнения). Для любых $y_1, y_2 \in B$ существует единственный $y_3 \in B$, такой что $R(y_1, y_2, y_3) = 1$. Для любых $y_1, y_2 \in B$ существует единственный $y_3 \in B$, такой что $S(y_1, y_2, y_3) = 1$. Для любого y_1 существует единственный $y_2 \in B$, такой что $T(y_1, y_2) = 1$.

Доказательство. Абстрактно запишем предикат принадлежности:

$P(x, y) = \exists M \subseteq B \ M(x)y^{\varphi(M)}$, где φ – биекция из 2^A на B , соответствующая данному предикату P . Подставляя в определение (17), получим

$$R(y_1, y_2, y_3) = \forall x (\exists M \subseteq B \ M(x)(y_1^{\varphi(M)} \vee y_2^{\varphi(M)}) \sim P(x, y_3)).$$

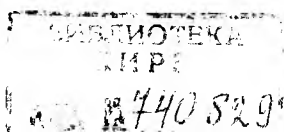
Пусть y_1 и y_2 – некоторые фиксированные элементы из B . Тогда, очевидно,

$$\exists M \subseteq B M(x)(y_1^{\varphi(M)} \vee y_2^{\varphi(M)}) = (\varphi^{-1}(y_1))(x) \vee (\varphi^{-1}(y_2))(x) = M^*(x).$$

Множество $M^* \in 2^A$ однозначно определяется элементами y_1 и y_2 . Получаем

$$R(y_1, y_2, y_3) = \forall x (M^*(x) \sim P(x, y_3)).$$

Отсюда следует, что элемент $y_3 = \varphi(M^*) = \varphi(\varphi^{-1}(y_1) \cup \varphi^{-1}(y_2))$ однозначно определяется по элементам y_1 и y_2 . Аналогично доказывается функциональность предикатов пересечения и дополнения.



Связь отображений с предикатами

Рассмотрим произвольные множества A и B . Между отношениями на $A \times B$ и отображениями из A в 2^B существует взаимнооднозначное соответствие следующего вида. Пусть P некоторое отношение на $A \times B$, тогда ему соответствует отображение $f: A \rightarrow 2^B$, такое, что $f(x) = S_x = \{y \mid P(x, y) = 1\}$ для любого $x \in A$. Пусть, далее, множество C – некоторая система имен множеств из 2^B . Тогда отображение f формально зададим предикатом $F(x, z)$ на $A \times C$, который связывает элемент $x \in A$ с именем $z \in C$ множества S_x . Предикат F выражается через предикат P следующей формулой: $\forall x \in A, z \in C$

$$F(x, y) = \forall y \in B (P(x, y) \sim \prod(y, z)), \quad (20)$$

где P – предикат принадлежности на $B \times C$.

Выражение (20) можно использовать в качестве формального определения понятия отображения. Обратный переход от предиката F к предикату P описывается зависимостью: $\forall x \in A, y \in B$

$$P(x, y) = \exists z \in C (F(x, z) \sim \prod(y, z)), \quad (21)$$

где P – тот же предикат принадлежности, что и в (20).

Список литературы: 1. Клини С. Математическая логика. М.: Мир, 1973. 480 с. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Х.: Вища школа, 1987. 159 с. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Вища школа, 1984. 142 с. 4. Колесников Д.О. О решении уравнений с неизвестным множеством // Радиотехника, 1999. Вып. 112. С. 8082. 5. Столл Р.Р. Множество. Логика. Аксиоматические теории. М.: Просвещение, 1968. 231 с. 6. Куратовский К., Мостовский А. Теория множеств. М.: Мир, 1969. 416 с. 7. Целищев В.В. Логическая истина и эмпиризм. Новосибирск: Наука, 1973. 112 с. 8. Клайн М. Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984. 434 с.

Поступила в редколлегию 4.09.2000

УДК 519.7

В. А. ЧИКИНА

МАШИННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИЗ ТЕКСТА (на материале русского языка)

Большинство программных систем, ориентированных на понимание текста на естественном языке, устроены следующим образом: из текста выделяется предложение, затем проводится его морфологический анализ (иногда и постморфологический, чтобы исключить или уменьшить многовариантность морфологического анализа), синтаксический (иногда определение глубинного синтаксиса), семантический анализ предложения, который может потребовать учета контекста.

Что касается выделения предложения, то обычно применяется простое правило: если стоит точка, а за ней большая буква, то это конец предложения. Поскольку для понимания предъявляются очень простые предложения, то ошибок такое решающее правило дает немного, а те ошибки, что случаются, можно не рассматривать из-за гораздо более многочисленных ошибок на следующих, более сложных, этапах. Это решающее правило, даже в улучшенном и дополненном виде, на типичных, заранее не упрощенных текстах дает около 20 % ошибок [1]. С усовершенствованием компьютеров продолжают попытки сделать совершеннее прежние программные системы.

Настоящая работа посвящена проблеме усовершенствованию алгоритмов выделения предложений из текста [1]. Считается, что входной текст не прошел никакой предварительной подготовки и относится к произвольному жанру, имеет традиционный формат (со знаками препинания, прописными буквами, пробелами, отступами и т. п.) или современный компьютерный формат, где переносы слов не допускаются (точнее, допускаются только по дефисам: например, можно переносить "нибудь" в слове "какой-нибудь"), где абзацы обозначаются не отступом *перед*, а пустой строкой *за* и применяется выравнивание по правому полю, отчего между словами может стоять несколько пробелов. Для этих двух форматов придется применять несколько иные алгоритмы.

Для решения поставленной задачи возможно использование двух методов: совершенно формального, без опоры на смысл, и с некоторой опорой на смысл (хотя последний полностью должен быть выявлен в конце описанной цепочки программ). Второй метод представляется малоперспективным, поскольку деление "сплошного" смысла на куски соответственно границам предложений очень неоднозначно, как будет показано ниже. Например, М. Таубе [2] пишет: "Бертран Рассел, Уиллард Куайн и большинство современных философов-аналитиков доказали, что именно предложение, а не слово является наименьшим носителем смысла. Конечно, верно, что части предложений имеют свой смысл..., но, с другой стороны, существует множество контекстов, в которых смысловое значение какого-либо предложения выводится из содержания целого параграфа. Для всех случаев, когда в качестве единицы носителя содержания мы могли бы взять сочетание слов, меньшее, чем предложение, найдется столько же случаев, когда в качестве такой единицы придется взять группу предложений или параграфов".

В силу сказанного будем использовать в решающих правилах только формальные признаки. Исследование проведено на материале русского языка. Результаты просто переносятся на другие европейские языки, но они отнюдь не универсальны. Например, семитские языки, где нет ни точек, ни прописных букв, требуют других алгоритмов.

Традиционная лингвистика много занималась изучением предложения. Вот что говорит по этому поводу В.А. Звягинцев [3]: "Если Джон Рис в своей книге: *Что такое предложение?*, вышедшей вторым изданием в 1933 г., привел 139 определений предложения, то к

настоящему времени легко было бы удвоить, если не утроить, количество таких предложений". Понятно, что традиционная лингвистика не владеет общепринятым алгоритмом выделения предложения из текста, иначе не понадобилось бы столько определений. Разумеется, в решении нашей задачи не поможет определение на уровне обычной схоластическо-бюрократической игры (например, "Автор – то фізична особа, яка творчою працею створила твір"). Во-первых, нужно отметить, что традиционные средства выделения предложения в естественном языке несовершенны, и даже человек, использующий много более сильные средства (он понимает смысл), иногда не может однозначно выделить предложение.

Рассмотрим два примера: обычное повествование

2 августа Наполеон объявлен пожизненным консулом. (1)

и отрывистую дневниковую запись

2 августа. Наполеон объявлен пожизненным консулом. (2)

В первом примере очевидно одно предложение, во втором – два. Толковать ли следующее предложение как (1) или как (2)?

2 августа 1802 г. Наполеон объявлен пожизненным консулом (3)

Трудность состоит в том, что точка имеет несколько функций: ею часто кончаются предложения и менее часто аббревиатуры. Если в каком-то месте точка имеет обе функции, то точка не удваивается, потому неясно, в какой функции она употреблена.

Еще один пример такого же рода основан на том, что восклицательный знак тоже имеет несколько функций. Автор математического текста, желая выразить изумление, что число элементов в некоторых двух классах совпало, пишет:

Таким образом, мы снова имеем $n!$ комбинаций! (4)

А если перифразировать текст:

Таким образом, число комбинаций снова $n!$? (5)

Что ставить в конце предложения (5)? Если "!", то выйдет n , а не n -факториал, если "!!", то это означает, что целые числа до n перемножаются через одно.

Выше упоминались случаи, когда знаки пунктуации, которыми заканчивается предложения, – будем называть их терминальными знаками – имеют несколько функций, отчего трудно выделить предложение. Эта трудность может происходить и по обратной причине: в конце предложения терминальный знак вовсе не ставится. Так, например, не ставятся точки после заголовков и подписей под рисунками, на вывесках, чертежах, географических картах и т. д. В компьютерном формате точки (и запятые) все чаще заменяются пробелами до конца строки.

Рассмотрим следующее условное (но вполне реальное по пунктуации) деловое письмо:

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "МЕХАНО"

Харьков, пл. Восстания, 22

И.П. Сидорову
Президенту фирмы "Харснаб"
Лозовая ул., 33
Харьков

29.02.97

Просьба ускорить отправку в наш адрес следующих изделий:

1. Подшипники ШХ.3 – 100 шт.
2. Гайки Г.6 – 900 шт.
3. Болты Б.12 – 900 шт.

С уважением

/Подпись/

А.А. Легостаев

Генеральный директор ООО "Механо"

В этом письме 13 точек, и только одна из них обозначает конец предложения. Первая трудность – состоит в том, что традиционные средства обозначения конца предложения не совершенны. Вторая группа трудностей заключается в том, что в естественном языке нет резких разграничительных линий между предложением и группой предложений.

Вообще, чего мы хотим, когда объединяем некоторые синтагмы в предложение? Например, в Пушкинской "Полтаве" сказано:

Выходит Петр. Его глаза
Сияют. Лик его ужасен.
Движенья быстры. Он прекрасен,
Он весь как божия гроза.

Пушкинская пунктуация разрывает сказанное на короткие предложения и таким способом нагнетает напряженный темп. Можно было бы всюду вместо точек поставить запятые – тогда высказанное представлялось бы более слитным, более единым. Еще более сильное средство объединения представлено написанным выше вводящим цитату единым предположением от "Например" до "гроза". Бывают более сложные комплексы, где прямая речь переплетается с косвенной. Вот пример такого образования из Марины Цветаевой: «Тут молчание настало, долгое, – ну, думаю, наверно ее отчитывает – бог знает, за кого принял! – уж встать хочу, объяснить тому господину, что она – по молодости, и без отца росла, и без всякого там, скажем, какого-нибудь умысла... словом: дура – что... и вдруг, опять заговорила: "Значит, серые? Правда, серые? Нет, вовсе не как у всех людей, а как ни у кого в Москве и на всем свете! Я на лекции была и сама видела, только не знала, серые или зеленые... Вот и выиграла пари... Ура! Ура! Ура!.. Спасибо вам, Андрей Белый, за серые!"»

Итак, был рассмотрен случай, когда цитирование (и прямая речь, как частный случай цитирования) образует некие надфразовые единства. Другим источником аналогичных образований в современном языке являются перечисления. Вот сравнительно простой пример из реального документа.

3.1.1. Расширение производства продукции следующего ассортимента:

- этикетки для алкогольных и безалкогольных напитков;
- этикетки для пищевых консервантов;
- этикетки для продуктов химической промышленности (краски, лаки и т. п.);
- коробки для кондитерских изделий;
- коробки для парфюмерии;
- многокрасочный упаковочный материал для пищевой продукции;
- почтовые поздравительные открытки различных видов;
- листовые настенные календари;
- настольные перекидные календари;
- карманные календари;
- рекламные плакаты, буклеты, листовки.

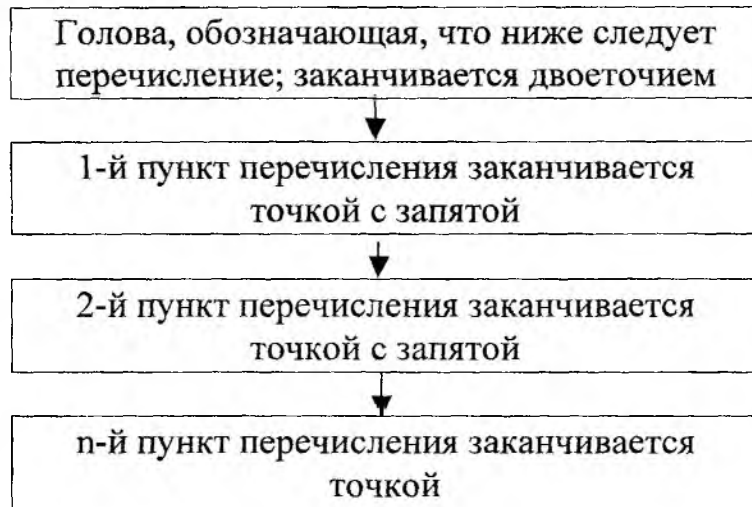
Вот более сложный пример, взятый из того же документа:

4.3.1. Местные производители:

- полиграфические предприятия, прежде всего государственные. Продукция этих предприятий – невысокого качества, изготовленная на устаревшем оборудовании, не всегда отвечает современным требованиям дизайна и технологии;
- фирмы-посредники, которые ведут активную работу на рынке полиграфпродукции, однако не имеют достаточной маневренности в ценообразовании, так как могут манипулировать только в пределах посреднической надбавки, тогда как производитель способен уста-

навливать систему скидок и применять индивидуальный подход к заказчику на взаимовыгодных условиях.

Общая схема образований показана ниже.



Видно, что перечисляемые пункты разрастаются: первый из них сам состоит из двух предложений, содержит точку как разделитель предложений, но пункт кончается точкой с запятой. Иногда в конце каждого перечисляемого пункта ставится точка, как в следующем примере (9), взятом из диссертации по лингвистике:

Для дистрибутивных наречий можно предложить следующий проект толкований:

$$N \text{ ВСЕГДА} \text{дистр. } P = \text{'в классе (предметов) } N \text{ все } N \text{ (имеют свойство) } P'. \quad (6)$$

$N \text{ ЧАСТО} \text{дистр. } P = \text{'в классе (предметов) } N \text{ есть (предметы) } N, \text{ которые не (имеют свойства) } P, \text{ и есть (предметы) } N, \text{ которые (имеют свойство) } P; \text{ (предметов) } N, \text{ которые (имеют свойство) } P, \text{ больше нормы.}$

Это образование еще можно толковать как предложение по той формальной причине, что организующая голова кончается двоеточием.

Следующий предельный случай наблюдается, когда голова кончается точкой, как в следующем примере (7).

Предметная именная группа в принципе допускает шесть денотативных (ДС) статусов.

1. Референтный ДС: именная группа отправляет к индивидуальному объекту или множеству объектов, рассматриваемому как единый объект; ср.: Скрипач играл (скрипачи играли) прямо под окнами.
2. Экзистенциальный ДС: именная группа отправляет к объекту, который в принципе не индивидуализируем; ср.: Кто-нибудь из друзей постоянно меня навещает.
3. Универсальный ДС: он возникает там, где (а) при имени есть или подразумевается квантор общности; (б) само имя не референтно. Пример: Все дети любят играть. # (Ср., однако: Все мои дети любят играть, – где не соблюдено условие (б)).

(7)

Существенны два обстоятельства. Во-первых, универсальная именная группа называет все объекты, которые удовлетворяют данной дескрипции; этим, собственно, и диктуется наличие или возможное наличие квантора общности. Во-вторых, сам по себе он способен связывать не только универсальные, но и референтные именные группы. Таким образом, рассматриваемый ДС формируется не универсальным квантором, но особым принципом объединения денотатов.

... Предикатный ДС присущ именам в функции предикатива при связочном глаголе. (8)

Здесь перечисление выражается лишь в общей организации идей. Видно, что образование, промежуточное между предложением и группой предложений, окончательно стало группой предложений.

Проведем здесь разграничительную линию и будем считать примеры (6 – 8) еще предложениями, пример (7) уже группой предложений. Для описания алгоритма будем использовать русский язык и алгоритмический язык Паскаль. Для начала понадобятся некоторые множества и обозначения, другие будут вводиться по ходу описания.

МНОЖЕСТВА:

- endsigns = ['.', '!', '?'] – терминальные знаки;
- digits = ['0' .. '9'] – цифры;
- letters = ['А' .. 'я'] + ['р' .. 'я'] – русские буквы;
- capitals = ['А' .. 'Я'] – заглавные буквы;
- lowercase = ['а' .. 'я'] + ['р' .. 'я'] – строчные буквы.

Сложный вид множеств letters и lowercase обусловлен тем, что в повсеместно принятой кодировке ASCII русский алфавит расположен не подряд. Пусть T – текст, который надо разбить на предложения, а T[i] – текущая рассматриваемая буква.

Весь алгоритм будет представлен как цикл по рассматриваемым буквам, тело цикла будет заканчиваться на метки yes_fin и no_fin, что означает, соответственно, ставь или не ставь знак конца предложения '@' на место T[i+1].

Если T[i] принадлежит множеству endsigns (T[i] in endsigns), то может оказаться, что T[i+1] in endsigns тоже (случай кратных терминальных знаков, вроде '?!' и т. п.). Для выхода на последний терминальный знак служит следующий простейший алгоритм

A1. Выход на последний терминальный знак

```
If T[i] in endsigns then goto no_fin;
```

Еще одна трудность состоит в том, что терминальные знаки внутри скобок и кавычек не означают конца предложения. Чтобы преодолеть эту трудность, надо до головы цикла quclo:=true (quotes closed – скобки закрыты), par:=0 (количество скобок – parentheses – равно 0). Внутри цикла работает алгоритм.

A2. Учет скобок и кавычек.

```
if T[i]='(' then begin dec (par); goto no_fin end;
if T[i]=')' then begin inc (par); goto no_fin end;
if T[i]='"' then begin quclo := not quclo; goto no_fin end;
```

а после метки yes_fin поставить соответствующую проверку.

Самый простой случай конца предложения – это комбинация endsign + пробел+capital. Она разрешается следующим алгоритмом:

A3. Случай endsign + пробел + capital.

```
if (T[i] in endsigns) (and T[i+1] = ' ')
and (T[i+2] in capitals)
then goto yes_fin;
```

Таким образом, последовательность

```

quclo:=true; par:=0;
  for i:=1 to 1 do
    begin
      A1; A2; A3;
    yes_fin: if par=0 and cuclo then T[i+1]:='@';
    no_fin:
      end;

```

решает простую задачу даже с учетом скобок и кавычек.

Для решения более сложных задач надо между A2 и A3 вставлять все более сложные алгоритмы или усложнять уже описанные.

Следующая сложность – это случай, когда точка (или иной endsign) стоит в конце абзаца и до следующей буквы не один, а много пробелов (а в компьютерном наборе – невидимых знаков, таких, как конец строки, перевод каретки; знак табуляции (0A, 0D, 09 соответственно). Эта трудность преодолевается следующим образом: пишутся функции nextlet(i) и distlet(i), которые находят, пропуская служебные знаки, следующую букву и расстояние (в числе символов) до нее. Достаточно в A3 поставить nextlet вместо T[i+2] и вышеописанная трудность будет преодолена. Еще одна трудность состоит в том, что в русском языке имеются сокращения, содержащие точки (типа "т. е."). К счастью, подавляющее большинство таких сокращений, как можно удостовериться по словарю [4], имеет такую структуру: слово+точка и подавляющее большинство таких сокращений не может стоять в конце предложения. Поэтому для того, чтобы не находить фальшивых концов предложений после точек в сокращениях, нужно использовать следующий алгоритм:

A4. Обработка сокращений

```

If (T[i] in endsigns)
And (T[i-1] in lowercase)
And (not (N[i-2] in letters))
Then goto no_fin;

```

Алгоритм A4 должен стоять после A2.

Еще одна часто встречающаяся трудность, особенно в компьютерном наборе (см. пример делового письма выше), это – обозначение конца предложения ранним обрывом строки. В этом случае помогает следующий формальный алгоритм. Для его построения понадобится функция size_line(i), которая вычисляет, сколько знаков стоит в данной строке перед символом T[i]. Понятно, как написать такую процедуру: это цикл от i с уменьшением индекса, пока не встретится перевод строки.

A5. Нахождение конца предложения, не означенного терминальным знаком

```

if (T[i] in letters) or (T[i] in digits)
or (T[i]=')') or T[i]='" ')
and (size_line(i) < const) and (nextlet(i) in capitals)
and (T[i+distlet(i)+1] in lowercase)
then goto yes_fin;

```

Алгоритм A5 должен быть поставлен после A4.

Изложена лишь часть алгоритмов, поскольку формальный алгоритм выделения предложений – весьма громоздок. Алгоритмы из полного набора могут быть по сложности где-то соразмеримы с представленными. Охарактеризуем результат применения программы, напи-

санной по этому алгоритму. Были взяты случайно шесть примеров текстов разных жанров (технический, программистский, общенаучный, деловой, поэтический и прозаический тексты). Программа делала около 3% ошибок на окказиональных сокращениях (типа "субъект" с нижним индексом "пропоз." и тому подобных редкостных образованиях).

Таким образом, формальная программа может служить 501-м определением предложения.

Список литературы: 1. *Рублинецкий В. И.* Определение границ фразы при анализе текста на ЭВМ // Проблемы бионики. Вып.34. 1968. С. 34-39. 2. *Таубе М.* Вычислительные машины и здравый смысл. Миф о думающих машинах М.: Прогресс. 1964. 183 с.155. 3. *Звягинцев В. А.* Предложение и его отношение к языку и речи М.: Изд-во Моск. ун-та. 1976. 160 с. 4. *Словарь сокращений русского языка* / Сост.: Д.И. Алексеев, И.Г. Гозман, Г.В. Сахаров / Под ред. Б.Ф. Корицкого. М.: Госиздат иностранных и нац. словарей. 1963. 486 с.

Поступила в редколлегию 4.11.2000

УДК 519.712

Г. Ф. ДЮБКО, П. Л. САМОФАЛОВ

**ФОРМИРОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ В ТАБЛИЦАХ РЕШЕНИЙ**

Для любого представления знаний и форм вывода в них прикладные аспекты использования знаний в ЭВМ невозможны без программной реализации базы знаний и выводов. Представление знаний таблицами решений также требует автоматического преобразования таблиц в программы, где знания будут представлены структурами памяти, а выводы соответствующими процедурами.

Знания в таблицах решений представляются не только самой формой таблицы, но также условиями и действиями. Условия могут описывать сложные отношения между объектами реального мира, а действия – процедуры преобразования объектов и отношений. Проблема автоматического преобразования таблиц решений в программы требует использования некоторого компактного языка для описания условий и действий в таблицах. С одной стороны, такой язык должен позволять относительно просто и ясно описывать знания, с другой – языковые конструкции должны быть настолько формальными и информативными, чтобы позволить трансляцию языка представления знаний в язык программирования, например С++ или Пролог.

В данной статье предложены языки описания условий и действий. Для языка описания условий построена грамматика, порождающая условия. Эта грамматика в дальнейшем может быть использована для конструирования транслятора, преобразующего таблицы решений в программы.

Рассмотрена методика формирования условий на синтаксическом атрибутивном дереве. Предложены языковые конструкции для описания отношений между различными вершинами дерева. Языковые средства выбраны таким образом, чтобы информации в языковых конструкциях было достаточно для трансляции таблиц в программы.

Продемонстрирована методика описания сложных условий в виде функций, аналогичных функциям С++, и в виде функций, реализованных средствами Пролога.

Разработаны языковые средства, позволяющие использовать циклические таблицы решений. Как и в языке программирования, циклы можно использовать с известным числом повторений таблицы решений (тип *for*), по условию (тип *while*). Циклические таблицы решений можно также использовать для реализации хорновских дизъюнктов.

Предложены и проанализированы языковые конструкции, с помощью которых можно формировать действия. В основном в качестве действий должны использоваться функции С++. Параметрами этих функций являются глобальные переменные, определенные в таблицах.

Можно предложить различные схемы использования таблиц решений для представления знаний, логического вывода, нахождения стратегий вывода и т. д. Во всех случаях использования таблиц решений необходимы языковые средства, посредством которых будут выражаться условия и действия в таблицах. Определим формальный язык, достаточный для описания таблицами решений знаний, необходимых для формирования фактов, рабочих баз знаний, стратегий вывода в интеллектуальных системах, где знания и логический вывод представлены исчислением предикатов 1-го порядка.

На рис. 1 представлена схема использования смысла и таблиц решений в экспертной системе.

При разработке языковых средств представления информации в таблицах решений сделано предположение, что все условия формируются над некоторой стандартной структу-

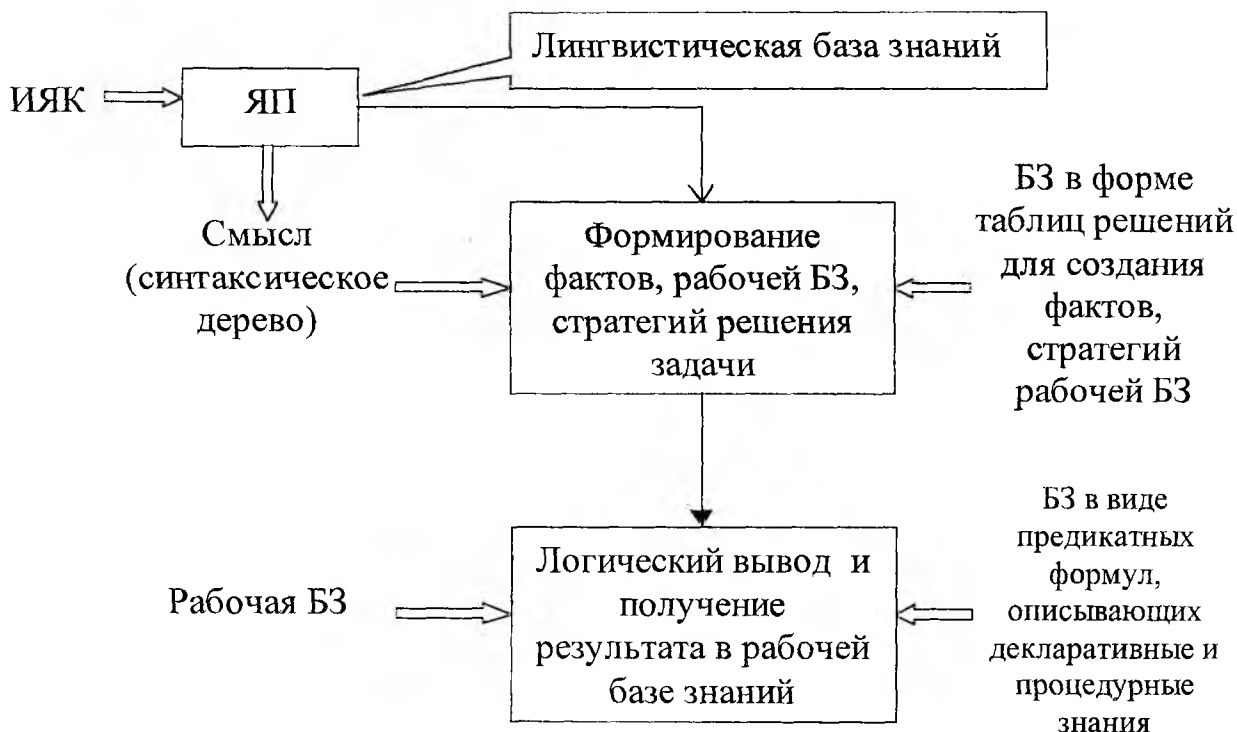


Рис. 1. Использование таблиц решений для генерирования фактов и рабочих баз знаний.

рой STR, задающей в явном виде структурные компоненты (концепты) и отношения между ними. Поскольку смыслом языкового сообщения являются концепты с их свойствами и отношениями между ними, то структуру STR можно считать выражением смысла. В качестве STR можно было бы выбрать множество предикатных формул, семантическую сеть, фреймовое представление или любую другую структуру представления знаний. Так как получение смысла в схеме экспертной системы (рис. 1) осуществляется с помощью языкового процессора, а сам языковой процессор основан на синтаксически-ориентированных принципах, реализованных путем введения контекстно-свободных грамматик (КС-грамматик) специального вида, результат работы ЯП (STR) удобно представлять синтаксическим атрибутивным деревом.

Определение

– Помеченное упорядоченное дерево D называется синтаксическим атрибутивным деревом в атрибутивной КС-грамматике $G = (V_T, V_N, P, S)$ если выполнены следующие условия:

– Корень дерева помечен меткой S ;

– Если D_1, \dots, D_k – поддеревья, над которыми доминируют (являются корнями) прямые потомки корня дерева, и корень дерева $D_i (1 \leq i \leq k)$ помечен символом X_i , то $S \rightarrow X_1 \dots X_k$ – продукция из множества P . D_i должно быть синтаксическим деревом в грамматике $G = (V_T, V_N, P, X_i)$, если X_i – нетерминал; и D_i состоит из единственной вершины, помеченной X_i , если X_i – терминал;

– Если корень дерева имеет единственного потомка, помеченного ϵ (пустая цепочка), то этот потомок образует дерево, состоящее из единственной вершины, и $A \rightarrow \epsilon$ есть продукция из множества P .

– Все метки синтаксического дерева могут иметь атрибуты (наследуемые или синтезируемые).

Покажем на конкретном примере методику создания таблицы решений (фрагмента БЗ), с помощью которой в ЭС будут формироваться факты, необходимые для логического вывода. Затем на основе анализа этого примера проведем синтез языковых средств, посредством которых будут описываться условия рассматриваемых таблиц решений.

Пусть рассматривается предметная область "эквивалентные преобразования выражений элементарной алгебры". Одним из эквивалентных преобразований является выполнение операции умножения над заданными операндами. В качестве операндов могут быть одночлены, многочлены, алгебраические выражения. Представим фрагмент базы знаний для выполнения умножения следующими предикатами:

$$AB(\alpha_1 * \alpha_2) \wedge MHC(\alpha_1) \wedge ODH(\alpha_2) \supset MHC(f_*^{(MH-O)}(\alpha_1, \alpha_2)), \quad (1)$$

$$AB(\alpha_1 * \alpha_2) \wedge ODHC(\alpha_1) \wedge ODH(\alpha_2) \supset ODHC(f_*^{(ODH-ODH)}(\alpha_1, \alpha_2)), \quad (2)$$

$$AB(\alpha_1 * \alpha_2) \wedge ODH(\alpha_1) \wedge ODH(\alpha_2) \supset ODH(f_*^{ODH-ODH}(\alpha_1, \alpha_2)), \quad (3)$$

$$AB(\alpha_1 * \alpha_2) \wedge MHC(\alpha_1) \wedge MHC(\alpha_2) \supset MHC(f_*^{(MH-MH)}(\alpha_1, \alpha_2)), \quad (4)$$

где AB – алгебраическое выражение; MHC – многочлен в скобках; ODH – одночлен; $ODHC$ – одночлен в скобках; $f_*^{(MH-O)}$ – процедура умножения многочлена на одночлен с результатом в скобках; $f_*^{(ODH-ODH)}$ – процедура умножения одночлена на одночлен с результатом в скобках; $f_*^{ODH-ODH}$ – процедура умножения одночлена на одночлен.

Положим, что исходная строка, подлежащая преобразованию, есть

$$(x^2 - 2x) * x. \quad (5)$$

Подвергнув строку (5) обработке языковым процессором, настроенным на определенную грамматику, получим синтаксическое дерево (рис. 2).

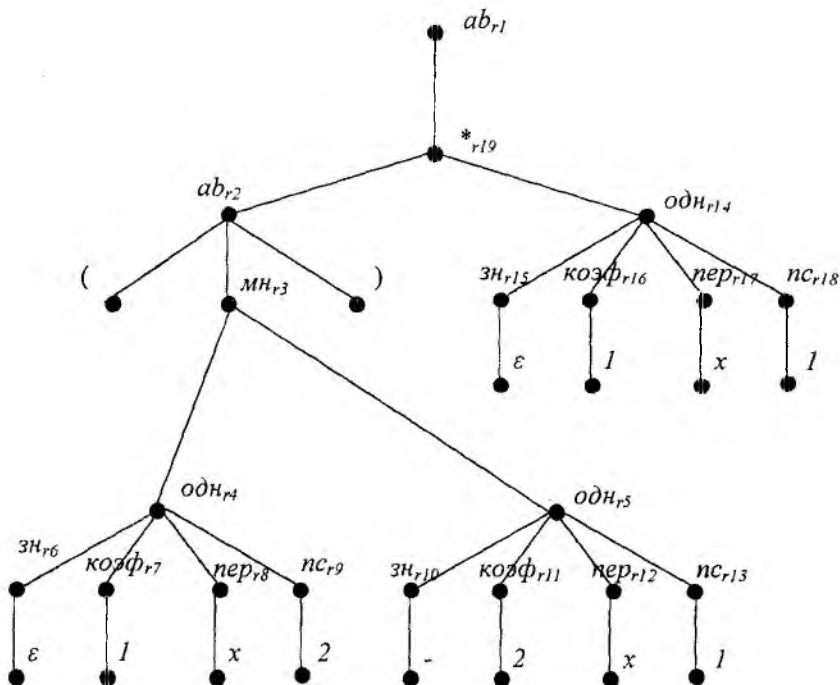


Рис. 2. Синтаксическое дерево с атрибутивными символами – метками (r_1, r_2, \dots, r_{19} - атрибуты).

Таблица решений из соответствующей БЗ (см. рис. 1) должна сформировать предикаты *AB*, *MHC*, *ОДН* с их конкретными значениями аргументов. Условия этой таблицы тестируют узлы *STR*. Таким образом, для написания таблицы решений, выполняющей требуемые действия, по меткам узлов *STR* создают условия так, как например, в таблице *TP1*, обслуживающей формулы (1- 2) (табл. 1).

Таблица 1

TP1		R ₁	R ₂	R ₃	E
1	<i>STR</i>	1	1	1	
2	Корень 'ab'	1	1	1	
3	Вершина $\xi 1 = \{\text{потомок} [\text{корень}] = '*'\}$.	1	1	1	
4	Потомок [Вершина $\xi 1$] = (('ав', 'одн' \wedge 'одн' 'ав') \wedge Потомок['ав'] = ('', 'мн', ''))	1	-	-	
5	Потомок [Вершина $\xi 1$] = 'одн', 'одн'	-	1	-	
6	Потомок [Вершина $\xi 1$] = 'мн', 'мн'	-	-	1	
		Д ₁	Д ₂	Д ₃	Д ₄

Действия TP1 выполняют следующие процедуры:

- Д1 – формирование *AB*, *MHC*, *ОДН* с их аргументами;
- Д2 – формирование *AB*, *ОДН*, *ОДН* с их аргументами;
- Д3 – формирование *AB*, *MHC*, *MHC* с их аргументами;
- Д4 – обработка ошибки.

Следовательно, создавая таблицу решений, подобную TP1, необходимо указать эту структуру (имя), узлы которой должны обрабатываться. Наличие имени этой структуры будет одним из условий создаваемой таблицы решений. Остальные условия создаются исходя из предикатной БЗ (формулы (1-5)), концептов и отношений предметной области.

Предикатная БЗ задает также действия, т. е. процедуры формирования фактов или процедуры вывода.

Структурой данных, над которой формируются условия, является дерево STR. Следовательно, операнды операций условий должны быть элементами дерева. В качестве элементов дерева рассматриваются корень, вершина, прямые потомки некоторой вершины, просто потомки, метки, атрибуты меток. При формировании условий между элементами дерева используют операции сравнений, включения, логические операции, операции определения потомков.

Поскольку условия в таблице решений независимы между собой, операнды условий являются локальными для каждого условия. Анализируя таблицу TP1, нетрудно заметить глобальные операнды, каковыми являются "корень", "вершина 1". При этом все операнды берутся из структуры, задаваемой в первом условии.

Здесь, ниже, приведено описание конструкций языка формирования условий. Семантика конструкции описывается естественным языком, синтаксис - продукциями КС-грамматики.

Сначала формулируем продукции для условий.

$$\langle \text{Условие} \rangle \rightarrow \langle \text{имя структуры} \rangle \quad (6)$$

Семантика продукции (6) заключается в следующем: все предикаты условия проверяются на структуре с указанным именем; имя структуры является глобальной переменной таблицы решений.

$$\begin{aligned} <\text{Условие}> \rightarrow <\text{метка}> \in <\text{фиксированная вершина}> | \\ \{<\text{метка}>: \text{вершина}<\text{ целое}>\} \in <\text{фиксированная вершина}>. \end{aligned} \quad (7)$$

Семантика продукции (7): вершина, помеченная меткой, включена в поддерево с корнем "фиксированная вершина"; вершина, помеченная меткой, фиксируется и включена в поддерево с корнем "фиксированная вершина".

$$\begin{aligned} <\text{Условие}> \rightarrow <\text{фиксация вершины } 1> = <\text{последовательность меток}> | \\ <\text{фиксация вершины}> = <\text{последовательность меток}>. \end{aligned} \quad (8)$$

Семантика продукции (8) такова: под "фиксацией вершины 1" понимается множество потомков, некоторой зафиксированной вершины; это множество потомков одного и того же уровня помечено, с упорядочиванием потомков слева – направо, "последовательностью меток".

$$<\text{Условие}> \rightarrow <\text{фиксированная вершина}> = <\text{метка}>. \quad (9)$$

Семантика продукции (9): некоторая определенная вершина помечена указанной меткой.

$$\begin{aligned} <\text{Условие}> \rightarrow <\text{потомок}> = (<\text{последовательность фиксаций}>) | \\ <\text{потомок}> = (<\text{последовательность меток}>). \end{aligned} \quad (10)$$

Семантика продукции (10) заключается в том, что упорядоченная последовательность вершин, являющихся потомками определенной вершины, помечена указанными метками в порядке их перечисления; вершины, помеченные метками, могут быть зафиксированы.

$$<\text{Условие}> \rightarrow <\text{обращение к функции}>. \quad (11)$$

Семантика продукции (11) такова: условием может быть процедура, параметрами которой являются вершины обрабатываемой структуры.

$$<\text{Условие}> \rightarrow <\text{значение атрибута}> = <\text{значение атрибута}>. \quad (12)$$

Семантика продукции (12): сравниваются значения атрибутов, т. е. строки для двух вершин.

$$<\text{Условие}> \rightarrow <\text{логическое выражение}>. \quad (13)$$

Семантика продукции (13) заключается в следующем: условие комбинируется из условий, определенных в (6 - 12), с использованием логических связок и кванторов логики предикатов первого порядка.

Далее аналогичным образом составляются продукции для определения нетерминальных символов из продукции (6 - 13).

Языковые средства для формирования циклических таблиц решений

Таблицу решений можно интерпретировать как модель представления знаний [1]. Формализовав представление условий и действий, таблицы решений можно считать средством проектирования базы знаний. Разработка транслятора, превращающего таблицу решений в программу, делает из таблицы решений средство реализации.

Таким образом, таблицы решений, являясь средством проектирования и реализации баз знаний, могут рассматриваться как язык программирования. Любой язык программирования является эффективным средством представления процессов, если он имеет средства описания циклов. Циклы характеризуются средствами управления, которые обеспечивают повторение некоторой последовательности инструкций, изменяющей значения структур данных, представленных в цикле.

Для таблиц решений цикл состоит в повторении данной таблицы решений столько раз, сколько позволяет управляющий элемент. В качестве управляющего элемента цикла можно использовать любое условие таблицы решений, поэтому разрабатывать для управления циклом специальный элемент не целесообразно. Повторение таблицы решений можно осуществлять с помощью стандартного действия "повторить". Действие "повторить" может иметь параметры, изменяющие значения некоторых глобальных переменных таблицы. Другая альтернатива параметрам может состоять в том, что изменение значений глобальных переменных производится с помощью специальных действий, специфицированных в таблице решений. В этом случае важен порядок действий. Действие "повторить" должно выполняться последним.

Поскольку условия TP формируются на глобальной структуре STR , при повторении цикла чаще всего будет изменяться значение этой структуры. Начальное значение STR должно иницироваться языковым процессором. Это значение представляет собой знания о том, какие сущности представлены на данном этапе решения задачи и в каких отношениях между собой эти сущности находятся. Цикл может описывать формальные рассуждения (вывод), осуществляющие этап решения задачи интеллектуальной системой. В результате выполнения цикла последовательные значения структуры STR можно интерпретировать как результаты выполнения шагов вывода, т. е. каждый шаг вывода превращает предыдущее знание в последующее на основе метазнаний.

Рассмотрим формирование циклической таблицы решений на примере приведения подобных в многочлене. Например, многочлен $2x^2y - x^2 + x^2y + 2x^2 - 4x^2y$ с использованием знаний о структуре многочлена и самой операции приведения подобных должен быть приведен к многочлену $-x^2y + x^2$.

Логически знания о приведении подобных в многочлене могут быть описаны следующим множеством формул:

$$Mn(\alpha): -not\ MNP(\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4). \quad (14)$$

$$Mn(\alpha): -MNP(\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4), \beta = f_{np, под}(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4), MN(\beta). 0 \quad (15)$$

$$MNP(\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4): -f_{разд}(\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4), ODH(\alpha_2), ODH(\alpha_3), \\ ПОДОБН(\alpha_2, \alpha_3), (ODH(\alpha_1); MN(\alpha_1); \varepsilon), \\ (ODH(\alpha_4); MN(\alpha_4); \varepsilon). \quad (16)$$

$$ПОДОБН(\alpha_2, \alpha_3): -D_1 = f(атрибут(\alpha_1)), D_2 = f(атрибут(\alpha_2)), \\ arg(3, D_1, z_1), arg(3, D_2, z_2), \\ z_1 = z_2. \quad (17)$$

Нотация в (14-17) близка к прологовской, семантика также. Предикат $arg(x, y, z)$ истинен, если z есть x -й аргумент в терме y . Однако реализация этих формул в Прологе весьма проблематична. Формулы (14-17) могут служить формальным представлением того, что в действительности нужно выполнить. Например, если формула (14) – истинна, то многочлен не имеет подобных. Если истинна формула (15), то многочлен имеет подобные и получается новый многочлен, который, в соответствии со стратегией вывода в логическом представлении БЗ должен быть подвергнут испытанию на присутствие подобных. Эта формула является рекурсивной и требует цикла для своей организации. Формулы (16-17) определяют, каким образом задается подобность двух подстрок строки, являющейся многочленом.

Взяв за основу знания о приведении подобных, выраженные формулами (14 - 17), нетрудно составить адекватную таблицу решений, которая будет не только описывать знания об операции, но и позволит непосредственную реализацию применения этих знаний (таблица решений TP2) (табл. 2).

Таблица 2

TP2	R ₁	R ₂	E
STR	1	1	
{Mn ∈ STR: вершина 1}	1	1	
Приведение Подобных (вершина 1)	1	0	
D ₁	X		
Повторить	X		
Выход из TP2, так как подобных нет		X	
Выход из TP2 для определения дальнейших действий			X

Элементы таблицы решений TP2 определены следующим образом. Функция *ПриведениеПодобных* описана в предыдущем параграфе и вырабатывает условие наличия двух подобных одночленов. Подобные одночлены фиксируются двумя вершинами *ВершинаТек1*, *ВершинаТек2*. Для того, чтобы такая фиксация была возможна, положим, что семантика языковой конструкции "*ВершинаТек<целое>*" требует создания текущей нумерации вершин дерева STR, независимой от основной нумерации. Если *ПриведениеПодобных* есть *true*, выполняются действия в порядке их записи: сначала D₁, затем "Повторить". Действие D₁ может быть представлено функцией *ТрансформацияПрПод(STR, ВершинаТек1, ВершинаТек2)*, которая перестраивает структуру STR в соответствии с правилами приведения подобных. В результате выполнения этой функции структура STR будет содержать новое дерево. Действие повторить приведет к выполнению этой же таблицы. Отметим, что все фиксации вершин старого дерева отменяются и производятся новые в соответствии с новым значением STR.

Если в структуре STR нет подобных или ситуация выходит за рамки правил R₁, R₂, то осуществляется выход из таблицы.

Пример приведения подобных, описанный таблицей TP2, является типичным для представления знаний, выраженных рекурсивными логическими формулами, где процесс получения результата при манипуляции знаниями сводится к итерации, т. е. к новой обработке полностью вычисленных значений на предыдущем шаге цикла.

Существуют формы представления знаний с помощью рекурсивных логических формул, которые требуют рекурсивного процесса обработки, когда на каждом шаге цикла получаются "недовычисленные" значения структур. Эти "недовычисленные" значения могут быть вычислены окончательно, когда цикл вычислений завершится, т. е. будет получено значение простейшей рекурсивной структуры. Рассмотрим более подробно процесс получения результата с помощью подобной рекурсии на конкретном примере.

Пусть отношение *SumList(Xs, Sum)* описывает отношение "сумма элементов списка Xs равна Sum" и определяется следующими логическими формулами:

$$\begin{aligned} SumList([X|Xs], Sum) :- Sum = Sum1 + X, SumList(Xs, Sum1) \\ SumList([], 0). \end{aligned} \quad (18)$$

Процесс обработки этих формул приводит к последовательности определений $Sum_0 = Sum_1 + X_0$, $Sum_1 = Sum_2 + X_1$, ..., $Sum_N = X_n$, которые не являются операторами присваивания и могут быть вычислены только тогда, когда будут определены все их элементы. Элемент X_n считается определенным, поэтому должен быть выполнен цикл последова-

тельного вычисления $Sum1$ для получения окончательного результата $Sum0$. Процесс, управляемый формулами (18) может быть представлен таблицей решений ТРЗ (табл. 3).

Переменные Xs , $Sum[i]$, X , Ys , i , Sum являются глобальными переменными таблицы и их нужно соответствующим образом описывать. Xs , $Sum[i]$ являются небулевскими переменными, представляющими условие. Они по умолчанию считаются глобальными, а описываемые ими условия приобретают значение true, если эти переменные объявлены и инициализированы вне таблицы решений. Для остальных глобальных переменных необходимо явное указание. Языковая конструкция $\{<переменная>: глобальная\}$ годится для указания глобальной переменной, поэтому условия 2, 3 ТРЗ нужно представить в виде

Таблица 3

ТРЗ	R ₁	R ₂	E
Xs	1	1	
$Sum[i]$	1	1	
$Xs = [X Ys]$	1	0	
D_1	X		
$Sum[i] := X$	X		
$i := i + 1$	X		
Повторить	X		
D_2		X	
D_3			X

$$Sum\{i: глобальная\},$$

$$Xs = [\{X: глобальная\}\{Ys: глобальная\}].$$

Необходимо добавить соответствующие правила для представления условий, которые позволяют задавать структуры в виде списка и массива, а также разбивать список на голову и хвост.

Опишем теперь действия таблицы ТРЗ (табл. 3).

- D_1 – преобразование списка Xs в Ys (удаление головы списка Xs) и присвоение $Xs := Ys$.
- D_2 – вычисление значения рекурсивной структуры в соответствии с алгоритмом

$$Sum = 0;$$

$$For(k=1; k \leq J; k++)$$

$$Sum = Sum + Sum[k];$$

D_3 – принятие решения в случае нештатной ситуации.

Правила составления таблицы ТРЗ.2. являются типичными для процессов обработки знаний, представленных рекурсивными логическими формулами, приводящими к рекурсивному вычислению.

Методы представления знаний таблицами решений, описанные в этой статье, могут быть применены для формирования баз знаний в экспертных системах и являются частью технологии проектирования и реализации экспертных систем [2].

Список литературы: 1. Дюбко Г.Ф. Самофалов П.Л. Описание знаний с использованием таблиц решений // Автоматизированные системы управления и приборы автоматки. 1997. Вып. 104. Харьков. С. 81-85. 2. Дюбко Г. Ф. Самофалов П.Л. Технология разработки интеллектуальных систем // Информационные системы: Сб науч. тр. 1994. Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. Вып. 2. С. 57-60.

Поступила в редколлегию 30.11.2000

УДК 53.01

И. И. ЗИМА, Г. Ф. БОГДАНОВ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В БИОЭНЕРГИЮ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА

Традиционно, с времен А.Лавуазье считается, что все энергетические затраты человеческого организма покрываются за счет биоэнергии окисления белков, жиров и углеводов, поступающих с пищей и имеющихся в запасах. Человеческий организм имеет запасы белков, жиров, углеводов, воды и кислорода. Запасов белков, жиров и углеводов хватает человеку примерно на 40 суток жизни, воды – примерно на двое суток, а кислорода – всего на 4-5 мин. Без кислорода человеческий организм может остановиться в любой момент, имея запасы пищи и воды, подобно часам с заведенной пружиной. Но только ли прекращение процессов окисления лишает человека жизни? Анализ статистических данных о смертности людей в связи с возникновением магнитных бурь показывает, что имеется прямая зависимость между возмущениями магнитного поля Земли и остановкой кровообращения и дыхания человека [1]. При возмущениях геомагнитного поля сначала прекращается транспорт кислорода, а затем – процессы окисления. Таким образом, транспорт кислорода является первичным и связан с магнитным полем Земли.

Организм человека потребляет кислород из атмосферы с помощью органов дыхания и кровообращения. Традиционно считается, что кислород проникает в протекающую по легким кровь лишь благодаря диффузии, т. е. потому, что в крови его меньше, чем в окружающей среде, а газообразные и жидкие вещества стараются распределиться так, чтобы их содержание всюду было одинаковым. Такие рассуждения справедливы в предположении, что молекулы кислорода электро- и магнитонейтральны. Однако исследования показывают, что кровь поглощает примерно в 60 раз большее количество кислорода, чем то, которое может быть физически в ней растворено при температуре живого организма [2]. Молекула кислорода действительно неполярна и имеет нулевой дипольный электрический момент, т. е. молекулы кислорода не ориентируются по электрическому полю Земли в атмосфере и не чувствуют электрических полей и зарядов молекул, клеток и мембран, входящих в состав крови. Зато кислород отнюдь не нейтрален в магнитном смысле и является сильным парамагнетиком. Его молекула представляет собой бирадикал, содержащий два неспаренных электрона с параллельными спинами, и имеет эффективный магнитный момент, равный примерно трем магнетонам Бора.

Парамагнетизм кислорода позволяет объяснить связь процессов дыхания и кровообращения с возмущениями геомагнитного поля и совершенно по новому представить себе как процессы транспорта, так и процессы жизнедеятельности и биоэнергетики организма в целом. В чем же заключается эта новизна? В том, что человек, находящийся в магнитном поле Земли и состоящий на 80 % из парамагнитной воды и крови, вдыхает парамагнитный кислород и пьет парамагнитную воду, и вся его жизнедеятельность зависит от взаимодействия этих парамагнетиков. Диффузный транспорт кислорода в этом случае дополняется магнитным и становится основой неразрывной связи человека с магнитными полями Земли и Космоса.

Новый взгляд на процессы дыхания и кровообращения позволяет по новому подойти к их моделированию с позиций бионики. Представляется возможным развитие нового направления бионики – роторной бионики, основанной на явлении роторного геомагнетизма [3]. Роторный геомагнетизм заключается в квантовых переходах частиц между геомагнитными энергетическими уровнями в парамагнетиках, находящихся в условиях естественного магнитного поля Земли. Эти переходы сопровождаются излучением магнитных кван-

тов, обладающих в условиях земного магнетизма минимально возможными энергиями. Поэтому теоретической основой роторной бионики является квантовая физика минимальных энергий. С позиций квантовой физики человеческий организм может быть представлен в виде совокупности протонной и электронной спиновых систем, обменивающихся энергией с решеткой и окружающей средой благодаря магнитному транспорту кислорода.

Магнитный транспорт кислорода основан на особых магнитных свойствах крови. Кровь – это коллоидная ферромагнитная жидкость, изменяющая свои свойства под воздействием внешнего магнитного поля. Она представляет собой суспензию ферромагнитных частиц железа в водном растворе и обладает свойствами электронного и протонного парамагнетизма. Чтобы предотвратить слипание частиц железа под влиянием электростатических и магнитных сил притяжения, они помещены в глобулы гемоглобина и оболочки эритроцитов.

Гемоглобин – это биополимер, состоящий из 600 аминокислот глобина и 4 атомов железа геминных функциональных групп, объединенных в глобулярную макромолекулу. Биополимер образован прочными ковалентными связями между аминокислотами, а глобула – водородными. Четыре атома трехвалентного железа располагаются в центре трехмерной глобулы и определяют магнитные свойства гемоглобина. Эффективный магнитный момент атома зависит от числа электронов с неспаренными спинами и для трехвалентного железа составляет около шести магнетонов Бора.

Атомы железа в центре глобулы образуют своеобразный ферромагнитный кристалл. С точки зрения обеспечения максимальной эффективности магнитного транспорта для кристалла энергетически выгодным является попарное антипараллельное расположение магнитных моментов соседних атомов железа. Такое состояние может быть обеспечено благодаря упругой закрутке глобулы. Результирующий разностный магнитный момент кристалла в отсутствие внешнего магнитного поля в таком случае равен нулю.

Внутри эритроцита, имеющего форму тора, ферромагнитные кристаллы гемоглобина имеют атомный ферромагнитный порядок. Причиной его образования является наличие у молекул белка глобина значительного электрического дипольного момента, связанного с неравномерностью распределения аминокислот. Силы электростатического взаимодействия выстраивают молекулы гемоглобина в кольцевые структуры, образуя ферромагнитное кольцо в оболочке эритроцита. Результирующая намагниченность эритроцита при отсутствии внешнего магнитного поля равна нулю. Энергии атомного магнитного порядка эритроцитов противодействует энергия разупорядочения плазмы, поэтому направления суммарных моментов эритроцитов различны и результирующая намагниченность крови при отсутствии внешнего магнитного поля также равна нулю.

В естественных условиях существования человеческий организм, находясь в магнитном поле Земли, подвергается статическому намагничиванию. Воздействие геомагнитного поля приводит к появлению отличной от нуля парамагнитной намагниченности тела.

Намагничивание крови происходит главным образом вследствие переориентации магнитных моментов атомов железа ферромагнитных кристаллов гемоглобина, ориентированных против поля. Результирующий магнитный момент ферромагнитного кристалла из разностного обращается в суммарный и может достигать десяти магнетонов Бора. Так как эритроцит может содержать до $3 \cdot 10^8$ молекул гемоглобина, то его суммарный магнитный момент также становится отличным от нуля и может достигать $3 \cdot 10^9$ магнетонов Бора. Поскольку при этом эритроцит представляет собой кольцевой магнит, в нем создается практически внутреннее поле без краевых эффектов с преимущественной ориентацией вдоль оси симметрии. В этой связи эритроциты становятся способными хорошо притягивать и удерживать молекулы парамагнитных газов и радикалов, растворенных в плазме крови и проникающих внутрь их оболочки.

В процессе кровообращения происходит циркуляция крови по системе вертикально и горизонтально ориентированных кровеносных сосудов, обеспечивая обмен веществ и кислорода между тканями организма и внешней средой. При этом кровеносные сосуды большого круга кровообращения ориентированы вертикально, а малого – горизонтально. В нашем случае роль циркуляции крови заключается в циклическом изменении направления кровотока относительно направления геомагнитного поля и циклическом перемагничивании эритроцитов. При циклическом перемагничивании эритроцитов кривая намагничивания представляет собой симметричную петлю гистерезиса, имеющую форму эллипса. Важным требованием к кривой намагничивания является ее повторяемость. В здоровом организме это требование выполняется благодаря однородности и ламинарности потока крови. Кроме эритроцитов циклическому перемагничиванию в процессе кровообращения подвергаются молекулы воды плазмы крови.

При магнитном транспорте важным является также статическое намагничивание газов и радикалов атмосферы в геомагнитном поле. Особенно это касается кислорода, молекулы которого составляют пятую часть атмосферного воздуха. В процессе дыхания парамагнитный кислород диффундирует в намагниченную кровь, которая доставляет его к тканям и органам тела.

Рассмотрим более подробно процессы статического намагничивания кислорода и циклического перемагничивания крови с учетом имеющихся представлений об их организации в человеческом теле.

В соответствии с положениями квантовой физики при внесении парамагнитного газа в геомагнитное поле происходит зеемановское расщепление магнитных спинов его частиц на две части, образующих два уровневых суммарных магнитных момента. Эти уровневые магнитные моменты имеют противоположную ориентацию: по полю и против поля. Человек вдыхает парамагнитные частицы обеих ориентаций, но в магнитном транспорте участвуют только те, у которых в альвеолах легких направление магнитного момента совпадает с направлением суммарных моментов эритроцитов. Эритроциты притягивают и увлекают за собой эти частицы, увеличивая их диффузию в кровь по сравнению с естественной. При перемагничивании в кровеносных сосудах эритроциты отталкивают эти частицы, передавая их клеткам тканей и органов.

Исследования процессов кровообращения и дыхания показывают, что в альвеолах легких происходит отбор преимущественно молекул кислорода, ориентированных против направления геомагнитного поля. При зеемановском расщеплении энергетических уровней эти частицы переходят в возбужденное состояние и обладают избытком энергии, поэтому при их поглощении в процессе магнитного транспорта организм получает порции энергии, изменяющие его энергетический баланс с окружающей средой в пользу человека. В отличие от окислительно-восстановительных процессов магнитный транспорт кислорода обеспечивает организм энергией непрерывно и в реальном масштабе времени, как бы поддерживая его магнитный тонус или живой дух.

С позиций бионики в человеческом организме реализован магнитный насос, преобразующий энергию геомагнитного поля в энергию спиновой системы тела и затем в биоэнергию его решетки. В библейском сказании о Божественном “вдохновении” жизни в человека сказано: “И создал Господь Бог человека из праха земного и вдунул в лице его дыхание жизни, и стал человек душою живою” (Бытие, 2, 7). Можно предположить, что здесь речь идет о запуске и первом испытании такого насоса и его важности в жизнедеятельности человеческого организма.

Аналогичное преобразование энергии возможно реализовать с помощью технических решений. Например, подобный способ преобразования энергии используется в устройствах обработки жидкостей путем их закручивания в определенном направлении. Циклическое

перемагничивание воды используется в квантовых магнитометрах.

Поскольку магнитный насос в организме осуществляет транспорт не только парамагнитного кислорода, но и парамагнитного углекислого газа, то можно сделать предположение об универсальности его конструкции и многообразии форм жизни. В этой связи становятся ясными влияние на жизнедеятельность организма парамагнитных аэроионов и радикалов воздуха, целительных свойств магнитотерапии и климатотерапии, вредное действие угарного газа и экологически загрязненного воздуха, а также ряд других явлений недостаточно убедительно объяснимых с позиций традиционного диффузного транспорта кислорода.

Список литературы: 1. Мизун Ю.Г. Космос и биосфера. М.: Знание, 1989. 2. Камышников В.С. О чем говорят медицинские анализы. Минск: Беларуская навука, 1997. 3. Зима И.И., Богданов Г.Ф. Роторное взаимодействие в природе: Сб. научн. трудов. Х.: ХВУ, 1999. Вып. 4 (26).

Поступила в редколлегию 4.09.2000

УДК 519.711

В. М. ЛЕВЫКИН, С. Ф. ЧАЛЫЙ

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Современные эволюционные методы, среди которых большую популярность завоевали генетические алгоритмы, позволяют решить многие задачи создания и развития сложных информационных систем.

Генетические алгоритмы были разработаны для решения задач статической оптимизации в плохо формализуемых областях. Они успешно используются, в частности, при решении различных комбинаторных задач. В то же время сфера применения генетических алгоритмов значительно шире. Например, в экономических исследованиях генетические алгоритмы применяют для моделирования обучающегося поведения совокупности (популяции) взаимодействующих экономических агентов. В последние годы в зарубежной литературе упоминается ряд примеров использования генетических алгоритмов при моделировании сложных информационных систем в экономике: микроэкономические, денежно-кредитные, теоретико-игровые модели, бизнес-приложение для определения предлагаемой цены на аукционах [1, 2].

Генетический алгоритм

Генетический алгоритм описывает эволюцию некоторой популяции особей P_t . Каждая особь характеризуется своей хромосомой S_k , которая определяет индивидуальную приспособленность (fitness) $f(S_k)$; $k = 1, \dots, n$; n – размер популяции. Хромосома обычно описывается двоичной строкой, $S_k = (S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kN})$, где N – длина строки. В соответствии с данным подходом символы S_{ki} могут интерпретироваться как гены хромосомы S_k [3].

Процесс эволюции характеризуется последовательностью поколений. В каждом поколении отбирают индивидуумы с наибольшим значением функции приспособленности. Далее к хромосомам применяют три стандартных оператора: пропорциональный отбор, кроссинговер и мутацию.

Оператор отбора. Отбор индивидуумов S_k из текущей популяции осуществляется с вероятностью, пропорциональной значению их функции приспособленности $f(S_k)$.

Оператор кроссинговера. В популяции n строк (хромосом) разбиваются на $n/2$ пар и к каждой паре применяется скрещивание с вероятностью $cO[0,1]$. Точка скрещивания выбирается случайным образом между 1 и $N-1$. Далее происходит обмен символами между двумя строками справа от точки скрещивания.

Оператор мутации. Любой бит в любой строке инвертируется с некоторой вероятностью.

После выполнения рассмотренных операторов формируется новая популяция P_{t+1} . Рассмотренные операторы применяют до тех пор, пока не будет достигнуто заданное значение функции приспособленности либо заданное количество итераций.

Особенности моделирования информационных систем

Использование генетических алгоритмов при моделировании сложных информационных систем должно отражать динамическое взаимодействие системы с внешней средой и, следовательно, характеризоваться следующими особенностями:

Во-первых, в данной сфере применения, в отличие от традиционного подхода, генетические алгоритмы ориентированы на моделирование популяции, интерактивно взаимодействующей с внешней средой.

Во-вторых, при традиционном применении приспособленность каждой особи популяции определяется значением fitness-функции в данной точке пространства поиска; последняя обычно кодируется соответствующей двоичной строкой. При моделировании же интерактивной популяции приспособленность каждой особи в популяции также зависит и от других особей данной популяции.

Рассмотрим в качестве примера моделирование экономической системы, охватывающей несколько фирм, производящих однотипную продукцию. Каждая строка в модели (особь в популяции) кодирует объем производства продукции соответствующей фирмы. Функция приспособленности особи отражает прибыль соответствующей фирмы и зависит от объема и цены продаваемой продукции. Очевидно, что последняя зависит от объема выпуска аналогичной продукции другими фирмами.

Таким образом, при моделировании интерактивной популяции функция приспособленности динамически отражает взаимодействие популяции с внешней средой и зависит от состояния всей популяции. Такие системы называют «системами с функцией приспособленности, зависящей от состояния», или SDF-системами [4].

Как известно, проектирование сложных информационных систем и их элементов является длительным процессом, связанным с большими материальными и трудовыми затратами, причем сам процесс проектирования требует четкой взаимосвязи и согласования всех разрабатываемых элементов. Задающим элементом всего процесса проектирования является функциональная структура системы, определяющая все множество функций, реализуемых системой. Для ее реализации создается соответствующее множество обеспечений и их элементов. Специфика создания такой системы состоит в том, что на различных этапах проектирования элементов обеспечения при опытной внедрении всей системы может корректироваться до 70% автоматизируемых функций. В связи с этим формирование функциональной структуры является определяющим, так как изменение даже нескольких функций приводит к необходимости возвращения процесса проектирования на начальный этап, что требует дополнительных материальных и трудовых затрат, а следовательно, увеличения сроков проектирования [5].

Рассмотренный подход к моделированию информационной системы позволяет найти пути решения проблемы формирования функциональной структуры и согласования всех элементов создаваемой распределенной информационной системы на основе моделирования популяции функций с помощью генетического алгоритма.

Список литературы: 1. Dawid H. 1995. Learning by genetic algorithms in evolutionary games. In Operations Research Proceedings 1994. Berlin: Springer-Verlag. 2. Andreoni J. and Miller J.H. 1990. Auctions with adaptive artificially intelligent agents. Working Paper No. 91-01-004, Sante Fe Institute. 3. Redko V.G. Genetic Algorithms. URL: <http://pespmc1.vub.ac.be/cgi-bin/GENETALG.htm>, 1999. 4. Dawid H. and Hornik K. The dynamics of genetic algorithms in interactive environments // J. of Network and Computer Applications, 1996. № 1. P. 5-19. 5. Левыкин В.М. Концепция создания распределенных информационных управляющих систем // АСУ и приборы автоматики. 1998. № 108. С. 32-41.

Поступила в редколлегию 6.11.2000

УДК 519.7

*М. А. ВОЛК, В. В. МАТЕЙЧЕНКО, С. Г. УДОВЕНКО***ОБ УПОРЯДОЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОКАЛЬНЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ**

В настоящее время важное практическое значение имеет освоение интеллектуальных систем. Включение в эти системы новой вычислительной техники и сложных знаковых систем, новых массивов научной, технической и социальной информации изменяет представление о характере интеллектуальной среды, в которой выделяются концептуальные компоненты, знаковые средства взаимодействия, информация об объектах знания и действиях. Однако средства их выражения и формальный аппарат их описания на сегодняшний день развиты явно недостаточно.

Для публикаций в области использования современных вычислительных средств характерны такие словосочетания, как "новые информационные технологии", "системы, основанные на знаниях", "интеллектуальный интерфейс", и другие специфические термины, смысл которых далеко не однозначен. Наука о компьютерах за недолгий век существования уже породила свой "философский камень" – понятие искусственного интеллекта. Но при этом нерешенной осталась задача оценки значимости того или иного продукта человеческой деятельности как интеллектуального продукта.

Каждая научная работа характеризуется неким формальным аппаратом, который основан, как правило, на устоявшихся понятиях. К ним можно отнести такие, как принцип, метод, алгоритм, граф, математическое выражение и т. д. Однако не всегда работу, не содержащую перечисленные элементы, можно назвать антинаучной. Это относится, например, к случаю, когда речь идет о поверхностных знаниях, которые в отличие от глубинных задают идею, а не пути и средства ее реализации [1].

Неоднозначность представлений о процессе интеллектуализации применения компьютеров очевидна. Так, во [2] под интеллектуализацией ЭВМ предложено понимать "в основном развитие возможностей вычислительных машин в направлении обеспечения совместного с пользователем решения задач, упрощения процесса общения человека и ЭВМ в ходе решения, постоянного расширения доли машины в совместной с человеком деятельности по решению задачи. При этом значительное внимание уделяется также и повышению способности вычислительной машины к самостоятельному (в автоматическом режиме) решению трудно формализуемых задач". Это скорее требование, чем определение, поскольку концептуально ставится лишь цель, но не указываются ресурсы, необходимые и достаточные для ее достижения.

Именно по пути широкого использования поверхностных знаний идет сегодня компьютерная наука. Если внимательно посмотреть на современные САПР электроники, то можно заметить, что все чаще разработчик описывает проект с точки зрения содержательного, функционального либо поведенческого смысла. В этом ему помогают многочисленные языки описания и моделирования электронных систем (Verilog, VHDL, AHDL). Дальнейшее проектирование производят в значительной степени автоматически, вплоть до разработки интегральных схем и печатных плат. Таким образом, разработчик может выполнять проект достаточно большой сложности, не имея представления о картах Карно, алгоритмах прошивки программируемых логических матриц, элементах схемотехники ЭВМ. Вследствие этого происходит отрыв от элементов концептуальной оси (рис. 1), которые реализованы в программах САПР, с сохранением их в "фоновом режиме".

Подобный эффект наблюдается и в науке. Все чаще ученый оперирует именно поверхностными знаниями (конечно, глубинные знания не умирают, но все более превращаются в "инженерную" работу от науки), проверяя и оценивая их с помощью многочисленных паке-



Рис. 1. Концептуальная ось.

тов прикладных программ на ЭВМ, о принципах создания которых часто имеет весьма отдаленное представление. Разработчик научной проблемы, столкнувшись, например, с задачей решения системы линейных уравнений, может не заниматься ею, а сослаться на существующий метод, алгоритм, программу, математическое приложение на ЭВМ (т. е. на любой элемент концептуальной оси). В еще большей степени это характерно для химиков и биологов, проводящих сложнейшие эксперименты на ЭВМ, не имея даже начальных знаний об архитектуре вычислительных систем. Правда, все это возможно только при наличии интерактивных средств ЭВМ (а точнее интерфейса прикладных программ), которые позволяют пользователю представить свои идеи, мысли, результаты анализа и т. д. И тут большая роль отводится языку общения, понятному и вычислительной технике, и пользователю, и призванному согласовать естественный (или специализированный) язык специалиста с языком, используемым для формализации элементов концептуальной оси. Проблемой такого согласования занимается семиотика, которая основана на трех составляющих: прагматике, синтактике, семантике, являющихся обобщенными элементами семиотической оси (рис. 2) [3].



Рис. 2. Семиотическая ось.



Рис. 3. Гносеологическая ось.

С их помощью осуществляется перевод из знаковой системы (специализированного языка) в код, доступный программе, алгоритму, ЭВМ. При этом вопрос о самом языке описания остается открытым: существующие средства описания задач и проектов являются сильно формализованными, а направление их развития тесно связано с "интеллектуализацией" семиотики, т. е. с движением науки в сторону формализации естественного языка человека. Своеобразным ограничением решения этого вопроса является область, составляющая сущность третьей оси – гносеологической. Наиболее существенными ее элементами являются равенство, сходство и порядок, которые сдерживают неформальное общение пользователя с ЭВМ, одновременно с этим воспитывая дисциплину пользователя в задачах, стоящих перед вычислительной техникой [4].

Очевидной является возможность создания некоторого интеллектуального пространства, содержащего упомянутые оси. Следует, однако, отметить, что понятие конечномерного интеллектуального пространства будет иметь практический смысл лишь при возможности векторного представления в этом пространстве отдельных его элементов, т. е. интеллектуальных продуктов. Если понимать под интеллектуальным продуктом фиксированный результат любой интеллектуальной деятельности человека независимо от его конкретной цели, то становится совершенно очевидной невозможность практического построения в обозримом будущем универсального полного интеллектуального пространства. В то же время представляется реальным выделение из такого гипотетического пространства отдельных совокупностей интеллектуальных продуктов, объединенных некоторыми важными качественными характеристиками. Так, например, вполне естественной является локализация таких обширных классов интеллектуальных продуктов, как произведения литературы, живописи, технические изобретения, научные статьи и т. д.

Введем понятие локальных интеллектуальных подпространств.

Определение 1. *Локальным интеллектуальным пространством (ЛИП) является часть общего трехмерного интеллектуального пространства, имеющего гносеологическую, семиотическую и концептуальную оси, объединенная общей целью создания интеллектуального продукта.*

Очевидно, что характер и масштабность цели определяют протяженность конкретного ЛИП. Правомерность предлагаемого подхода к формированию интеллектуальных подпространств подтверждается реальным опытом классификации научных интеллектуальных продуктов по точкам концептуальной оси.

Попыткой такой классификации является, например, создание универсальных десятичных классификаторов (УДК), характеризующих проблематику и уточняющих отдельные признаки научных публикаций. При этом наблюдается тенденция увеличения разрядности УДК, позволяющего осуществлять детализацию свойств соответствующего интеллектуального продукта (иными словами, уточнять его положение в ЛИП научных публикаций).

Еще одним важным примером выделения локальных классов интеллектуальных продуктов следует считать создание и развитие информационных банков изобретений. Можно сказать, что патентный поиск предполагает локализацию в ЛИП научных изобретений отдельных его (более детализированных) подпространств в соответствии с выделенными признаками концептуальной оси (целью, концепцией, признаками и т. д.). Таким образом, можно говорить о примерах формирования ЛИП элементов, распределенных вдоль концептуальной оси. Очевидной также является возможность формирования в некоторых случаях системы оценки семиотических свойств интеллектуальных продуктов (например, алгоритмических языков, используемых при создании программных модулей). В то же время весьма проблематичной остается задача точной оценки гносеологических свойств элементов ЛИП. В этих условиях представляется целесообразной схема формирования трехуровневых плоскостных ЛИП, каждая из которых строится учетом соответствия интеллектуальных продуктов одной из обобщенных характеристик гносеологической оси (равенство, сходство, порядок).

Возникает задача определения механизма формирования плоскостных ЛИП. При этом, очевидно, следует задать классификатор, позволяющий по совокупности признаков сформировать некоторую количественную оценку положения элемента ЛИП относительно концептуальной и семиотической осей. Последовательность решения такой задачи может быть следующей:

- задается конечная совокупность признаков концептуальной оси конкретного ЛИП (разрядность концептуальной оси);
- задается конечная совокупность признаков семиотической оси конкретного ЛИП (разрядность семиотической оси);
- задается правило наличия признаков у элемента (простейшее правило – бинарная оценка: "0" – нет, "1" – есть).

Таким образом, разработчик интеллектуальных продуктов может осуществлять исходную оценку их положения в интеллектуальном пространстве. Формально при этом каждый из продуктов будет иметь свою двоичную комбинацию признаков по каждой из осей. Очевидно, что такой подход позволяет использовать понятие близости двух элементов ЛИП, основанное на определении кодового расстояния между ними.

К преимуществам практического использования кодового представления точек интеллектуального пространства следует отнести возможность автоматизированного выделения классов интеллектуальных продуктов, близких по совокупности своих признаков, а также создание эффективных процедур поиска элементов, затребованных пользователем.

При этом возникает проблема совместимости формируемых ЛИП с международными

ми рубрикаторами информационных продуктов, относящихся к научно-техническим разработкам. Такими рубрикаторами могут служить, например, государственный рубрикатор научно-технической информации (ГРНТИ) и универсальный десятичный классификатор [5]. Двухразрядные блоки рубрикатора определяют область классифицируемого научно-технического продукта с последующей детализацией его признаков. Старший из таких блоков может быть использован для задания конкретного ЛИП в гипотетическом пространстве, а остальные блоки для формирования префикса, предваряющего основную кодовую комбинацию продукта в ЛИП.

Пример 1. *Определим в интеллектуальном пространстве место научной статьи "Об одном алгоритме синтеза цифровых линейно-квадратичных регуляторов, минимизирующих обобщенную дисперсию выхода". В соответствии с ГРНТИ этот интеллектуальный продукт следует отнести к основному разделу "Кибернетика", имеющему код 28 (старший блок классификатора). Дальнейшая детализация классификатора может быть осуществлена последовательным наращиванием двухразрядных блоков: 28.15 – теория систем автоматического управления; 28.15.23 – линейные стохастические системы.*

Согласно предлагаемому подходу блок 28 определяет номер ЛИП, объединяющего научно-технические публикации по проблеме "Кибернетика", а последующие блоки 15.23 задают префикс, уточняющий концептуальную направленность интеллектуального продукта и предваряющий основную кодовую комбинацию. Предположим, что эта комбинация содержит двухразрядные блоки с десятичными кодами, соответствующими признакам концептуальной оси: "принцип", "метод", "алгоритм", "информационные технологии", "компьютерные технологии". Разработка этих кодов для конкретных ЛИП является отдельной, хотя и тривиальной задачей.

Аналогичным образом можно сформировать кодовые блочные комбинации, соответствующие признакам семиотической оси и кодирующие прагматические, синтаксические и семантические свойства продукта.

Очевидно, что границы конкретного ЛИП могут быть таким образом заданы для концептуальной и семиотической осей, причем две соседние точки, определяющие положение интеллектуального продукта на этих осях, будут иметь кодовые комбинации, отличающиеся друг от друга на единицу в младшем разряде.

Отнесение интеллектуального продукта к одной из трех плоскостей ЛИП проводится по формальной его принадлежности к гносеологической оси ("равенство", "сходство", "порядок") и кодируется одноразрядным десятичным кодом (0,1,2).

Введем понятие расстояния между кодовыми комбинациями двух интеллектуальных продуктов, принадлежащих к одному ЛИП, по каждой из осей интеллектуального пространства.

Определение 2. *Под расстоянием между i -м и j -м интеллектуальными продуктами по концептуальной оси будем понимать сумму по модулю двух кодовых комбинаций (с учетом кода ЛИП и префикса), соответствующих этим продуктам и представленных в BCD-формате.*

Аналогичным образом, учитывая соответствующие размерности кодовых комбинаций, могут быть определены расстояния между интеллектуальными продуктами по семиотической и гносеологической осям.

Пример 2. *Определим расстояние по концептуальной оси между интеллектуальным продуктом, рассмотренным в примере 1, и интеллектуальным продуктом, представляющим собой научную публикацию на тему "Об одном алгоритме субоптимального управления линейным детерминированным объектом". Согласно ГРНТИ первые три блока формируемого кода имеют вид: 28.15.15. – линейные детерминированные системы. Общая кодо-*

вая комбинация этого продукта представляется десятичным 16-разрядным кодом вида "28.15.15.xx.xx", где последние десять разрядов заполняются в соответствии с некоторой системой кодирования указанных выше признаков концептуальной оси.

Допустим, что комбинации в разрядах "xx.xx" для рассматриваемых продуктов совпадают. Тогда очевидно, что оцениваемое расстояние (в ВСД-формате) будет определяться константой вида: "0...0.0...0.00110110.0...0.0...0".

Таким образом, рассмотренный подход позволяет задать однозначное положение интеллектуального продукта в ЛИП и положение ЛИП в общем интеллектуальном пространстве.

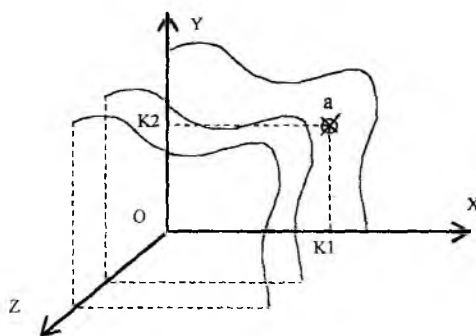


Рис. 4. Векторное представление интеллектуального продукта в ЛИП.

На рис. 4 приведена иллюстрация положения интеллектуального продукта *a* в некотором ЛИП (*X*, *Y*, *Z* – концептуальная, семиотическая и гносеологическая оси соответственно), находящегося в 0-ой гносеологической плоскости (наличие признака "равенство") и характеризующегося комбинацией *K1* и *K2* по концептуальной и гносеологической осям.

Следует отметить, что предложенный подход к упорядочению интеллектуального пространства может служить отправной точкой для создания новых автоматизированных систем поиска интеллектуальных продуктов в объективно существующих ЛИП (в том числе и с использованием интернет). Система кодирования объектов ЛИП может быть дополнена введением переменного кода востребованности по алгоритмам LRU (Least Recently Used) и характерной для компьютерных систем методикой виртуальной адресации этих объектов с использованием соответствующих дескрипторных таблиц.

Список литературы: 1. Эндрю А. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1985. 156 с. 2. Кузин Е.С., Ройтман А.М. и др. Интеллектуализация ЭВМ. М.: Высш. школа, 1989. 123с. 3. Горбатов В.А. Семантическая теория проектирования автоматов. М.: Наука, 1986. 231с. 4. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. Л.: ФизматГИЗ, 1971. 187с. 5. Государственный рубрикатор научно-технической информации / Под ред. Б.В.Кристалного М.: НТЦ РЕКТОР, 1992. 137с.

Поступила в редакцию 10.05.2000

УДК 681.5.015

А. Л. ЕРОХИН

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

Введение

В настоящее время во всем мире бурно развиваются информационные технологии в области инженерных коммуникаций. Уже давно для обеспечения работ с графическим отображением инженерных сетей используются как САД-технологии, так и системы АМ/ФМ (Automatic Mapping/Facilities Management). В связи с тем что задачи становятся более сложными и не ограничиваются только работой с графикой, системы стали интегрироваться с геоинформационными технологиями и технологиями баз данных. Геоинформационные технологии манипулируют пространственно-распределенной информацией, т. е. отражающей материальные объекты на конкретной местности, территории. С помощью таких систем логично было бы организовать оперативное управление любыми ресурсами, с которыми работает человек. Таким образом, необходимым требованием сегодняшнего дня становится синтез новых подходов к организации оперативного управления в отдельных областях человеческой деятельности (инженерные сети, налогообложение, организация выборов и т. д.). Другой особенностью современных процедур управления является управление ресурсами путем манипулирования информацией. Для инженерных сетей – это управление территориальной информацией.

Основные определения

Территориальная информация – это совокупность сведений о физических объектах и человеческих ресурсах, свидетельствующая о мере организации системы. Территориальная информация – класс объектов управления, которые действуют в стохастической среде. Важной является задача исследования системных свойств таких объектов. Необходимо выделять главные задачи управления территориальной информацией:

- построение модели среды, в которой функционирует территориальная информация;
- построение математических моделей процессов возникновения территориальной информации;
- параметрическая идентификация и проверка адекватности модели;
- разработка моделей прогнозирования территориальной информации.

Постановка задачи повышения эффективности управления электрическими сетями

Вопросы оперативного управления потокораспределением в инженерных сетях в условиях неопределенности подробно рассмотрены [1]. Однако указанное исследование выполнено для инженерных сетей типа газо-, нефте- и других продуктопроводов. При попытке применить методы указанного научного направления к электрическим сетям оказалось, что возникают сложности, связанные прежде всего с понятием целевого продукта.

Целевой продукт в электрической сети - это электрический ток по физической природе, а по сути - электрическая энергия, доставляемая от генератора к потребителям. Существенно отличается способ транспортирования такого целевого продукта и особенно методы управления потокораспределением, управления качеством продукта и надежностью всей инженерной сети такого типа.

Электрические сети следует рассматривать как распределенную сеть со сложной вложенностью и неравномерной структурированностью. На рис.1 представлен фрагмент объектной модели электроэнергетической системы.

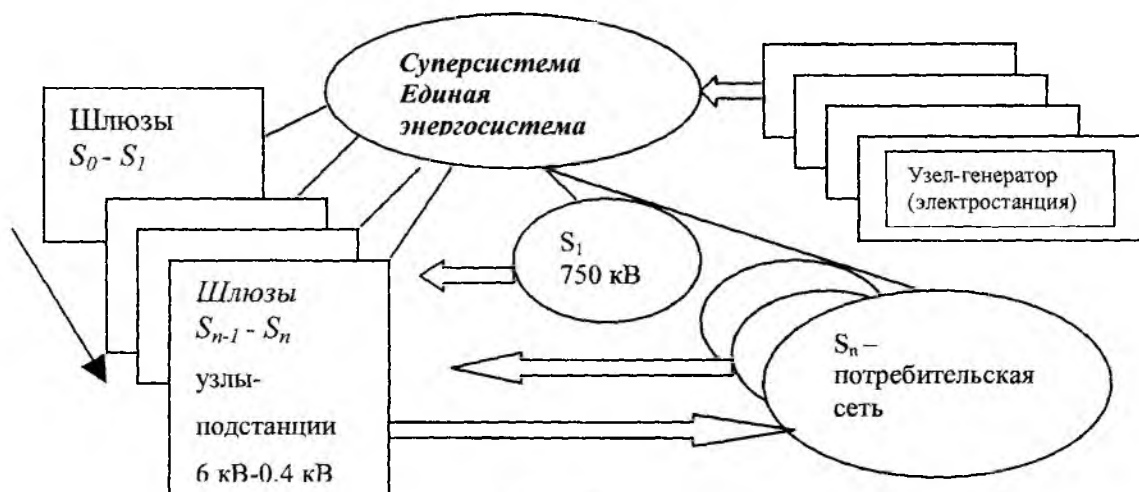


Рис. 1.

Сеть состоит из неравноправных узлов. Выделим узлы-генераторы, узлы-подстанции и узлы-потребители. Система представляет собой суперсистему S_0 и подсистем S_1, S_2, \dots, S_n , подчиненные суперсистеме. В нашем случае суперсистемой является единая энергосистема государства. В качестве подсистем низших уровней будем рассматривать электрические сети областей. Суперсистема должна влиять на подсистемы низших порядков для достижения целей, заданных для всей системы. Такими целями являются: бесперебойное снабжение целевым продуктом узлов-потребителей, оперативное управление перераспределением целевого продукта.

Рассмотрим кратко классификацию подсистем S_1, S_2, \dots, S_n . Каждая из них рассматривается как некоторая качественная единица со своими специфическими особенностями. Существуют следующие классы сетей по напряжению – 750, 500, 330, 220, 110, 35, 10, 6, 0,4 (трехфазная потребительская сеть), 0,22 кВ (однофазная потребительская сеть). Лучше всего структурированы и управляемы сети 750 и 330 кВ, поскольку наиболее крупномасштабны. Управление такими сетями – происходит на уровне министерства. Областные энерго-снабжающие компании занимаются управлением в основном сетями 110 и 35 кВ. В каждом классе сетей имеются свои узлы-генераторы. Они представлены генерирующими предприятиями (электростанциями). Узлы-подстанции (ПС) перерабатывают целевой продукт (электрическую энергию). Сложность управления такой совокупностью усугубляется тем, что все сети взаимодействуют между собой и это взаимодействие возможно только при достижении определенного качества целевого продукта. Потоки целевого продукта управляются диспетчерскими службами, главной задачей которых является безаварийная работа и недопущение развала всей энергосистемы. Методы обеспечения безаварийности в основном "топорные", ручные, с участием диспетчера. Об оптимальном, эффективном управлении потоками целевого продукта вообще речь не идет.

Методы оперативного управления в действующих электросетях представлены в основном методами диспетчерского управления. Практически используются система SCADA (в масштабах энергосистемы страны и региона), САД-системы (энергосистемы регионов). Все существующие технологии хорошо отработаны, однако не подходят для использования в качестве систем поддержки принятия решений при управлении электрическими сетями в нештатных ситуациях, поэтому актуальной является задача разработки новых подходов, методов и алгоритмов оперативного управления электрическими сетями.

Рассмотрим проблемы управления территориально распределенной информацией на примере сетей электроснабжения (далее электрических сетей). Особенности таких сетей являются:

- взаимозависимость всех компонент системы. Все генерирующие устройства и потребители связаны в такой инженерной сети;
- значительные трудности в оперативном учете и регулировании потока целевого продукта;
- сложность управления авторизацией доступа потребителей в инженерную сеть;
- сложность в оперативном принятии решения при нештатных ситуациях, поскольку электрические сети – это непрерывное производство;
- опасность необратимого развала энергосистемы при авариях (коротких замыканиях и системных отказах). Развал энергосистемы наступает после падения частоты тока в сети ниже определенной отметки. При этом стандарты нижней и верхней границ изменения частоты различны в разных государствах. В связи с этим оперативно поддержать разваливающуюся энергосистему подключением к другой практически не удастся.

Задачу управления всеми ресурсами инженерной сети типа "электрическая сеть" можно свести к задаче управления потоками информации, распределенной территориально. Такая аналогия напрашивается сама собой, если сравнить целевой продукт в электрической и в информационной сетях.

Вследствие этого возникает необходимость создания распределенной системы поддержки принятия решений в энергосистеме. Эта система должна прийти на смену устаревшим системам оперативного управления, основанным на "ручной" и "полуручной" диспетчеризации. Задачами новой системы должны стать как регистрация штатных и нештатных событий в системе с возможностью визуализации для пользователей, так и оперативная оценка значимости отдельных составляющих возникшей ситуации, генерация возможных решений, оценка последствий и эффективности этих решений (количественные и качественные характеристики), выбор наиболее оптимального из решения (исходя из полученных характеристик).

Рассмотрим различные методы использования в системах оперативного управления инженерными сетями:

1. Методы физической геометрии. Использование геометрии, объективно связывающей параметры протекающих в реальных телах физических процессов с их геометрической формой, позволяет решить эту проблему. Аналитическая технология определения физических параметров протекающих в реальной системе процессов дает возможность получить результаты обработки исходной информации требуемой точности и создать адекватную математическую модель процесса (CAD и другие технологии). На сегодняшний день это уже технологии низшего уровня.

2. Методы распознавания образов. Чаще всего применяется эталонный подход. Если программа находит в эталонном наборе признаков похожий признак, то событие в системе идентифицировано и ему присвоено соответствующее значение кода. Признаки, которые нужно идентифицировать, измеряются и сравниваются с геометрическими параметрами. Если пользователь (диспетчер, эксперт) исправит неправильно распознанные аварии и запишет эти исправления в виде "обученных" данных, то программа сможет использовать эти данные в будущих процессах распознавания.

3. Методы экспертных систем. В терминах экспертных систем в рассматриваемой предметной области имеются следующие типы знаний: понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические и метазнания. Понятийные знания – это набор понятий, которыми пользуются при решении конкретной задачи – обычно являются продуктом фундаментальных наук или теоретических разделов прикладных наук. К конструктивным относятся знания о наборах возможных структур объектов энергетики и взаимодействии между их частями. Эти знания продуцируют прикладные науки, занимающиеся электроэнергетикой. Процедурные знания – это методы и средства, алгоритмы и программы, применяющиеся для получения оптимизированного решения при аварии в электроэнергетике.

4. Методы нечетких множеств и нечеткой логики [2]. Это процесс принятия решения, при котором условия и правила не должны выполняться стопроцентно. При идентификации учитывается даже относительно нечеткая выраженность признаков. Преимущества нечеткой логики перед классическим подходом заключается в упрощении аналитического описания процесса. С помощью методов нечеткой логики можно комбинировать различные результаты нескольких способов контроля. Это повышает вероятность распознавания и дальнейшего принятия решения в критических случаях, например, при нечетко выраженных причинах аварии в энергосистеме. Алгоритмические способы решения проблемы, такие, как распознавание образов работают по раз и навсегда установленным четким правилам: в обучающихся системах создаются дополнительные временные правила, которые, тем не менее, формулируются совершенно однозначно. Нечеткая логика учитывает тот факт, что мозг может прийти к приемлемому решению проблемы даже без однозначных параметров. Для этого результаты исследования технологий низшего уровня сначала преобразуются в нечеткие, постепенно изменяющиеся параметры, так называемые лингвистические (вербальные) переменные. В системах с нечеткой логикой эти переменные объединяют несколько точных анализируемых параметров. Такой комплекс параметров называется также нечетким множеством. Каждому такому множеству присваивается собственное имя переменной.

Система управления электрическими сетями должна обеспечивать надежность выработки решения с учетом неполноты информации. Одним из таких подходов является использование нечетких множеств для анализа надежности систем на основе нечетких вероятностей возникновения отказа в рамках теории нечетких множеств. Использование нечетких вероятностей в качестве исходных данных во многих случаях имеет большое число недостатков. Нечеткий характер результатов создает ситуации, которые трудно объяснить с физической точки зрения. Например, для монотонных систем увеличение нечеткой вероятности отказа элемента может привести к уменьшению нечеткой вероятности отказа всей системы, что по определению монотонности невозможно. Данный парадокс связан не с физической природой монотонных систем, а с проблемами математических моделей, используемых для их анализа. Основная идея другого подхода заключается в том, что вместо случайных величин, таких, как время до отказа или время восстановления, используются нечеткие переменные. Разработка математической модели функционирования сложных систем и ее анализ, как правило, сталкиваются с необходимостью учета тех типов неопределенностей, которые встречаются при описании систем и зависят от источника получения информации. Выбор математического аппарата для анализа надежности определяется наличием, видом и источником информации о надежности элементов и системы. Ряд задач анализа надежности не могут быть решены в рамках классической теории вероятностей. Даже если решение существует, то степень доверия к нему может быть достаточно низкой. Использование нетрадиционных подходов является не только выходом из данной ситуации, но и более оправдано. К таким подходам можно отнести использование теории нечетких множеств. В основе теории интервальных средних лежат понятия классической теории вероятностей, и в то же время эта теория является обобщением вероятностных моделей. Теория возможностей является частным случаем теории интервальных средних [3].

Новейшие технологии

ГИС-системы поддержки принятия решений (ГИСППР). В настоящее время наблюдается повышенный интерес к системам пространственно-временного представления информации, что связано с самим естеством человека ("мы все живем на географической карте"). Появились новые формы анализа данных, основанные на интегрально-интеллектуальном подходе. ГИС – это наиболее современная на сегодняшний день информационная технология, позволяющая в удобном для человека виде хранить, визуализировать и обрабаты-

вать весь массив разноструктурных данных об окружающем мире. ГИС произвели такую же революцию в информационных технологиях, как в свое время появление электронных таблиц и реляционных баз данных. ГИС позволяет эффективно использовать изображения и картографическую информацию, что дает значительные преимущества при выборе оптимального решения. ГИС – это программно-аппаратные средства для сбора, обработки, отображения, анализа и передачи информации о пространственно распределенных объектах и явлениях. ГИС использует электронные карты (2D и 3D) и связанные с ними базы данных актуализированной информации.

Автоматизированных средств построения таких систем из картографического представления для электрических сетей не существует вследствие стохастичности поведения таких сетей на детальных уровнях представления, в сетях уровней S_1, \dots, S_n . Здесь возникают субграфы и концентрируются наиболее сложные топологические взаимоотношения узлов сети.

Решение задачи комплексной информатизации предприятий инженерных сетей лежит в области интеграции разного уровня программных средств, как геоинформационных технологий, так и программных средств других информационных технологий. Из других технологий в первую очередь это технологии баз данных, особенно нового поколения объектно-реляционных СУБД, или универсальных серверов, реализующих общий подход к хранению и пространственным, и непространственным данным. Это разработки Oracle, Informix, IBM (DB2). Также это технологии статистического анализа и экспертных систем. Но при этом принципы и подходы геоинформатики имеют ведущее значение и являются системообразующими.

К задачам ГИСППР можно отнести:

- создание точной электронной карты (сканирование карт, оцифровка карт, сшивание растров) и связывание объектов на карте с информацией в базах данных;
- наглядное представление данных в виде карт, диаграмм, графиков, схем;
- анализ пространственных данных;
- моделирование ситуаций;
- поддержка принятия управленческих решений как в штатных, так и в чрезвычайных ситуациях;
- перспективное планирование развития отраслей, городов, регионов;
- интегрирование информации различной природы и из разных источников;
- взаимодействие с другими информационными системами;
- разработка пилот-проектов геоинформационных баз данных, выполнение геоэкоинформационных исследований.

В новом подходе к управлению электросетями целесообразно использовать нечеткие логические выводы.

Рассмотрим возможную структуру ГИСППР.

ГИСППР может быть реализована в виде следующих вариантов:

1) решения генерируются несколькими экспертными системами, которые находятся в одном узле, но используют различные методы оценивания ситуации и выработки решения. Вследствие этого высока вероятность получения антагонистических решений. Такой вариант требует наличия лица, принимающего решение (ЛПР), которое и разрешит конфликт решений;

2) решения генерируют экспертные системы, которые находятся в различных узлах данной инженерной сети, но используют аналогичные технологии оценивания ситуации и выработки решения. В этом случае ситуация "просматривается" с разных углов зрения. Вероятность конфликта резко снижается, и в идеале можно обойтись без ЛПР.

Второй способ построения ГИСППР хорошо подходит для нашей предметной области. Электрические сети структурно состоят из подсетей с узлами в виде подстанций. Каждый узел оборудован аппаратурой для слежения за параметрами участка сети до следующего узла. Все узлы в сети авторизованы. При возникновении нештатной ситуации узлы приводят в действие

автоматику аварийного отключения данного участка сети (два узла – с двух сторон). Узлы можно наделять свойствами вырабатывать решения о причинах аварии и рекомендуемых действиях ремонтных бригад. Проблема повышения эффективности принятия решений при аварийных ситуациях в электрических сетях требует решения следующих задач:

- исследование методов и средств фиксации аварийных событий в электрических сетях;
- исследование характеристик информационных параметров режимов работы сети;
- исследование методик измерения информационных параметров сети;
- разработка компьютерной системы фиксации аварийных событий;
- разработка методов и средств анализа аварийных событий;
- разработка методики анализа информационных параметров сети при аварийных ситуациях;
- разработка средств визуального анализа аварийных ситуаций;
- разработка алгоритмов распознавания вида аварии методами экспертных оценок;
- информационное обеспечение автоматического определения места повреждения ЛЭП;
- разработка системы поддержки принятия решений относительно электрических сетей в аварийных ситуациях;
- разработка логической схемы принятия решений в аварийных ситуациях;
- разработка структурной схемы системы пространственно-временного анализа событий в электрических сетях;
- разработка программного обеспечения системы поддержки принятия решений в аварийных ситуациях на основе геоинформационных технологий.

Исследуемая система распределена пространственно и функционально. Вследствие распределенности она должна быть построена по модульному принципу.

Рассмотрим этапы разработки программного обеспечения современной системы принятия решений для электроэнергетики:

- идентификация (исследуются проблема, ресурсы, цели);
- неформальное (вербальное) описание проблемы;
- концептуализация (выделение ключевых понятий системы, отношений и характеристик);
- формализация проекта;
- разделения проекта на модули;
- разработка методик нечеткого принятия решений при нештатной ситуации, определения места аварии в сети, предсказания аварии;
- выполнение проекта (алгоритмизация, выбор языков программирования и инструментальных средств, кодирование, отладка модулей);
- интеграция модулей в ГИС-систему;
- тестирование;
- опытная эксплуатация (проверка пригодности ГИСППР-проекта для конечного пользователя);
- ведение и модификация проекта.

На рис. 2 приведен фрагмент работы разрабатываемой ГИСППР электрических сетей региона на примере Харьковской области. Наиболее значимым с научной точки зрения станут модули определения места (точных координат) аварии на линии, предсказания аварийной ситуации. При разработке алгоритмов указанных модулей использованы методы распознавания образов и нечеткой логики.

Выводы

Разработка ГИСППР позволит повысить оперативность управления муниципальным хозяйством, отказаться от услуг избыточного количества специалистов, обеспечить научно

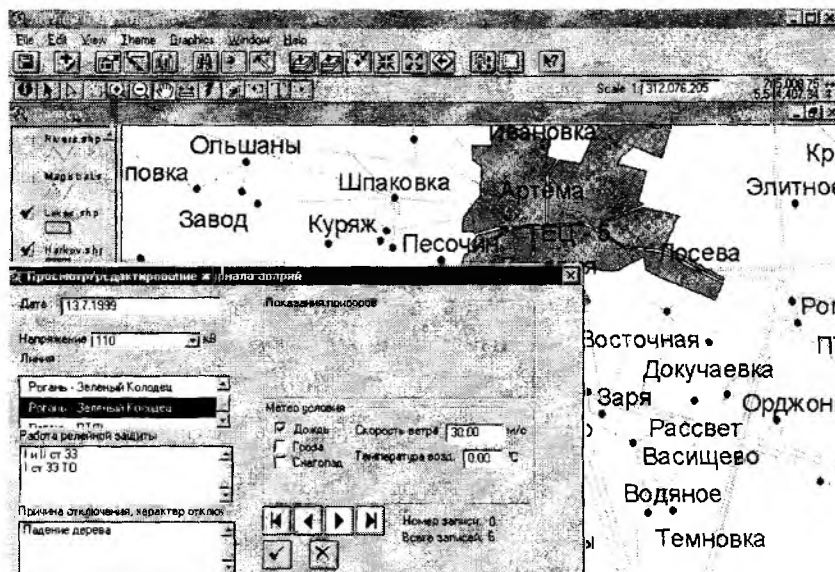


Рис. 2.

обоснованное манипулирование материальными ресурсами региона. ГИС позволит моделировать и прогнозировать чрезвычайные ситуации в регионе и принимать верные управленческие решения.

В настоящее время многим предприятиям, связанным с инженерными коммуникациями, ГИСППР необходима как решение, нацеленное на перестройку трех основных процессов: строительство, управление коммуникациями, эксплуатация сетей. ГИСППР-технология, специализированная для электроэнергетики, необходима не только для работы непосредственно с коммуникациями, но и для управления работами по распределенному строительству электрических сетей, учету и прогнозу электропотребления, прогнозированию отключений, оптимизации плановых и веерных отключений, предсказанию обычных отказов и недопущению системных аварий. Действия органов государственной и местной власти, силовых структур, аварийных служб должны быть согласованы путем использования ГИС управления муниципальными территориями. При возникновении чрезвычайной ситуации ГИСППР поможет выработать оптимальный сценарий действий всех служб. Применение ГИС-системы управления территориями позволит выработать рекомендации по внесению изменений в массив нормативных документов как на региональном, так и на государственном уровнях (законы, ведомственные инструкции по действиям персонала в чрезвычайных ситуациях).

Мы находимся в разгаре эволюции, которая качественно изменит наши представления и возможности по отображению явлений реального мира. Понятия пространства и времени в геоинформационных системах, использующиеся в качестве взаимосвязей с характеристиками и свойствами объектов, с процессами и событиями на заданной территории, позволяют моделировать окружающий мир максимально правдоподобно. Применение же таких систем для поддержки принятия решений позволит выйти на качественно новый уровень управления сложными системами.

Список литературы: 1. *Тевяшев А.Д.* Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях в условиях неопределенности: Дисс. ... д-ра техн. наук. Х.: Харьковский институт инженеров коммунального строительства, 1984. 2. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с фр. М.: Мир, 1976. 165 с. 3. *Гуров С.В., Уткин Л.В.* Надежность систем при неполной информации. С.-Пб., 1999. 4. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. М.: СИНТЕГ, 1998. - 376 с.

Поступила в редколлегию 29.11.2000

УДК 519.95:612.018

С. И. ЛАПТА, С. С. ЛАПТА

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРОРАЛЬНОГО ГЛЮКОЗОТОЛЕРАНТНОГО ТЕСТА

Необходимость в математической модели перорального глюкозотолерантного теста появилась давно в связи с его применением в диагностике сахарного диабета и потребностью в повышении ее точности. Однако известные минимальные модели этого теста [1-3] физиологически неадекватны даже в первом грубом приближении. Всеохватывающая интегральная модель [4] столь громоздка, что она нуждается в настройке по тем же минимальным моделям. До сих пор не было эффективной математической модели перорального глюкозотолерантного теста, описывающей его в целом. Особую актуальность проблема моделирования перорального глюкозотолерантного теста приобрела в последнее время в связи с выделением в 1979 г Комитетом экспертов ВОЗ по сахарному диабету нарушения толерантности к глюкозе в отдельный клинический класс и последующим подтверждением этой классификации в 1985 году [7]. Такое решение обусловлено как эпидемиологической обстановкой, сложившейся с данным заболеванием [8], так и выяснением опасности его тяжелых поздних осложнений, тех же, что и при сахарном диабете [9].

Пероральный глюкозотолерантный тест – основной, самый простой, физиологичный и надежный в диагностике сахарного диабета – состоит в измерении уровня глюкозы в цельной капиллярной крови натощак и затем еще несколько раз после приема внутрь глюкозной нагрузки 25-75 г. В норме базальный уровень глюкозы натощак составляет 60-100 мг% (60-100 мг глюкозы на 100 мл крови) [7, 10]. Заметим, что при определении гликемии в стационарных лабораторных условиях обычно используют плазму венозной крови, в которой уровень глюкозы всегда на 10-15 % выше, чем в цельной капиллярной крови [7, 10]. Через полчаса-час после приема глюкозы ее уровень в крови возрастает до максимального значения 120-160 мг% [10]. Еще через час он снижается практически до базального. В последующие два часа наблюдается слабая гипогликемия с повторным выходом на базальный уровень к концу четвертого часа (рис. 1) [11].

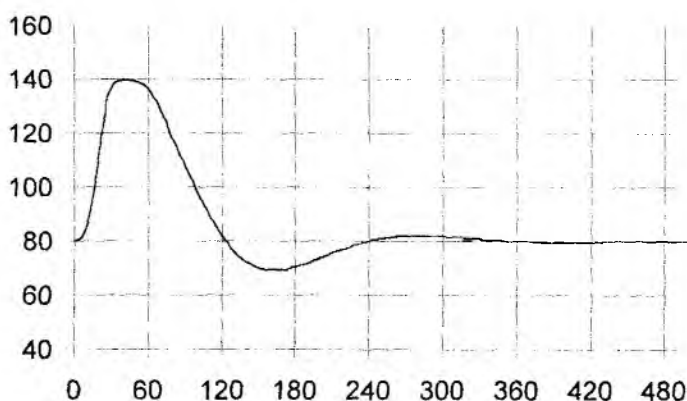


Рис. 1.

Дальнейшее поведение гликемической кривой не представляло интереса для медиков и физиологов. Принято считать, что в норме спустя четыре часа после глюкозной нагрузки гликемическая кривая окончательно выходит на базальный уровень. Заметим, что наличие у нормальной гликемической кривой гипогликемической фазы, хотя и относительно слабо выраженной, имеет столь большое принципиальное физиологическое значение, что его недопустимо не учитывать при моделировании.

Если уровень глюкозы натощак (при двух–трех повторных определениях) больше 120 мг%, а через два часа после глюкозной нагрузки более 200 мг%, что сопровождается глюкозурией, диагностируется сахарный диабет [7].

Все промежуточные состояния гликемии без какого-либо различия трактуются сейчас как преддиабет или нарушение толерантности к глюкозе [7]. Однако они в свою очередь нуждаются в отдельном исследовании с диагностикой и соответствующей дифференцировкой, т. е. в более точном, чем раньше, анализе результатов перорального глюкозотолерантного теста. Предлагаемая ниже его математическая модель может помочь в решении этой проблемы.

При построении модели перорального глюкозотолерантного теста будем исходить из следующих положений. Для обеспечения практической эффективности модель должна быть минимальной и описывать лишь динамику гликемии в капиллярной крови. Участие в процессе регуляции уровня глюкозы в крови многочисленных факторов, включая также и инсулин, возможно описывать опосредованно, в конечном итоге через саму глюкозу.

Из общих физиологических соображений вытекает первый порядок самой минимальной модели динамики гликемии в крови.

Реализация такого формального подхода, не учитывающего сложную внутреннюю структуру механизма регуляции уровня глюкозы в крови, однако, с последовательным прослеживанием физиологической адекватности описания приводит к модели не просто типа "черного ящика", а к эффективной функционально-феноменологической модели перорального глюкозотолерантного теста.

Известно, что в результате биохимических и физиологических процессов уровень глюкозы в крови при любых возмущениях со временем обязательно возвращается к некоторому исходному, присущему данному пациенту, базальному значению. В этой связи можно считать, что – ауторегуляция, обеспечиваемая нейрогормональными средствами, в целом осуществляется по принципу обратной отрицательной связи, характер которой качественно изменяется в зависимости от поступления в кровь экзогенной глюкозы. В норме динамика гипер- и гипогликемических отклонений уровня глюкозы от базального значения, их физиологическая значимость и интенсивность регуляции и контррегуляции характеризуются резкой несимметричностью. Вернее, на квазисимметричную базальную регуляцию, осуществляемую, с одной стороны, посредством инсулина, а с другой – целого набора контррегуляторных гормонов, накладывается экстренная усиленная односторонняя регуляция соответствующим мощным выбросом в кровь секреции инсулина в ответ на посталиментарную гипергликемию. Поэтому, описывая механизм регуляции уровня глюкозы в крови формально на языке обратной отрицательной связи, также удобно выделить два отдельных канала регуляции, каждый со своим управляющим сигналом. Первый из этих каналов, обеспечивающий квазисимметричную регуляцию, действует постоянно. Управляющим сигналом в нем является само отклонение текущего уровня глюкозы $g(t)$ от его базального значения g_B ,

т. е. рассогласование $y = y(t) = g(t) - g_B$. Соответствующая парциальная скорость возвращения уровня глюкозы к базальному значению является функцией рассогласования с противоположным знаком $-F(y)$. Как легко можно убедиться, эта функция – нечетная, обращается в нуль в нуле, при положительном значении аргумента принимает положительное значение и возрастает по модулю с увеличением модуля аргумента.

Второй, экстренный, односторонний, канал обратной отрицательной связи, качественно усиливающий ее, включается лишь в моменты поступления в кровь экзогенной глюкозы. Управляющим сигналом в этом канале служит интенсивность ее поступления $f(t) \geq 0$. Отсюда следует, что соответствующая парциальная скорость изменения уровня глюкозы в крови является всегда отрицательной функцией аргумента $f(t): -\Phi(f(t))$. Сама функ-

ция $\Phi(f(t))$ при этом обращается в нуль в нуле, всегда положительна и, как следует из общих соображений, монотонно возрастает, принимая всюду значения меньше, чем аргумент. Нетрудно видеть, что перечисленным условиям удовлетворяет лишь линейная функция с нулевым свободным членом: $\Phi(f(t)) = \alpha f(t)$, где $0 < \alpha < 1$.

С учетом возможной глюкозурии при превышении почечного порога и поступления экзогенной глюкозы динамику изменения ее уровня в крови можно описать уравнением

$$g'(t) = f(t) - F(y(t)) - \alpha f(t) - \gamma Es(g(t) - g^*), \quad (1)$$

где t – текущее время, мин, g^* – почечный порог глюкозурии,

$Es(z) = ze(z)$, где $e(z)$ – единичная функция Хевисайда, $\gamma > 0$ – числовой коэффициент; все величины нормированы на 100 мл крови.

Если уравнение (1) рассматривать как обыкновенное дифференциальное уравнение 1-го порядка, то описываемый им переходной процесс, как легко видеть, носит аperiодический, монотонный характер, что не соответствует слабоосцилляционному поведению нормальной гликемической кривой перорального глюкозотолерантного теста (см. рис. 1). При таком подходе модель, описываемая уравнением (1), противоречит критерию формы идентификации структуры функционального моделирования [6]. Не замечая этого противоречия, в работе [3], по сути, ограничились моделированием лишь резко спадающей части нормальной гликемической кривой глюкозотолерантного теста. Предложенная специально для устранения данного противоречия модель Болье [1], содержащая систему двух обыкновенных линейных дифференциальных уравнений 1-го порядка относительно глюкозы и инсулина, как легко видеть, также не может иметь осцилляционных решений. Это противоречие было, как бы устранено чисто формальным переходом к обыкновенному дифференциальному уравнению 2-го порядка, допускающему осцилляционное решение [6]. Такое разрешение проблемы не устранило противоречия, а лишь перенесло его из одного критерия (формы) в другой – (адекватности математической модели исследуемому объекту), которым, как полагают [6], допустимо пренебречь в прикладных задачах.

Отмеченное противоречие можно легко преодолеть в соответствии со всеми критериями идентификации структуры функционального моделирования, если рассматривать уравнение (1) не как обыкновенное дифференциальное, а как дифференциально-разностное уравнение запаздывающего вида

$$g(t) = (1 - \alpha)f(t) - F(y(t - \tau)) - \gamma Es(g(t) - g^*), \quad (2)$$

где τ – некоторое время запаздывания в стационарной обратной отрицательной связи системы ауторегуляции уровня глюкозы в крови, которое, вообще говоря, не обязательно одно и то же при положительных и отрицательных значениях рассогласования y . Известная некоторая инерционность этой системы ауторегуляции [9] служит физиологическим обоснованием такому подходу.

Общая теория дифференциально-разностных уравнений хорошо развита [12]. В отличие от уравнения (1), уравнение (2) для получения частного решения требует задания не только начального условия, а также так называемой начальной функции $\varphi(t)$ на промежутке $-\tau \leq t \leq 0$. Имеется общий метод решения таких уравнений – метод шагов (последовательного интегрирования) на каждом интервале длиной, равной времени запаздывания.

Уже из самого вида уравнения (2) легко видно, что оно допускает решение, характер которого соответствует нормальной гликемической кривой перорального глюкозотолерантного теста. Действительно, полагая для простоты начальную функцию $\varphi(t)$ тождественно равной значе-

нию g_B , получим на первом шаге при $0 \leq t \leq \tau$ $g(t - \tau) = g_B$ и $y(t - \tau) = 0$, соответственно $F(y(t - \tau)) \equiv 0$. При этом в отсутствии глюкозурии скорость изменения уровня глюкозы $g'(t)$ просто равна интенсивности поступления экзогенной глюкозы с множителем $1 - \alpha$, так что функ-

ция $g(t)$ растет по закону $g_B + (1 - \alpha) \int_0^t f(s) ds$. Начиная с момента времени $t = \tau$, скорость $g'(t)$

является уже разностью положительной величины $(1 - \alpha)f(t)$ и все возрастающей пока также положительной функции $F(y(t - \tau))$. В результате возрастание функции $g(t)$ замедляется и ее график выполаживается. Если к тому же прекратится поступление экзогенной глюкозы, то скорость $g'(t)$ станет отрицательной и кривая $g(t)$ пойдет резко вниз. Заметим, что при подходе величины $g(t)$ к базальному уровню g_B ее отрицательная скорость изменения $g'(t)$ будет все

еще велика по модулю соответственно значительно большему значению рассогласования $y(t - \tau)$.

Следовательно, равновесное базальное значение g_B будет пройдено функцией $g(t)$ в момент

времени t_1 со скоростью, определяемой значением уровня глюкозы в момент времени $t_1 - \tau$ (см.

рис. 1). В свою очередь, прохождение уровня глюкозы через базальное значение g_B в момент

времени t_1 приближается к нулевой скорости его изменения лишь в момент времени на τ минут

позже, т. е. при $t = t_1 + \tau$. На графике этот момент времени обозначен t_2 (см. рис. 1). В ближай-

шие последующие моменты времени $y(t - \tau) < 0$, соответственно скорость изменения уровня

глюкозы $g'(t) > 0$, т. е. он возрастает. Скорость $g'(t)$ будет оставаться положительной и в момент

времени t_3 повторного прохождения функцией $g(t)$ через базальное значение. Это равновесное

состояние уровня глюкозы в момент времени t_3 определит его нулевую скорость изменения в

момент времени $t_4 = t_3 + \tau$, после которого скорость $g'(t)$ вновь станет отрицательной и функция

$g(t)$ снова будет убывать и т.д.

Следует заметить, что определенная инерционность, присущая всем физиологиче-

ским процессам, требует последовательного учета соответствующего запаздывания. Пре-

небрегая запаздыванием во втором экстренном канале обратной отрицательной связи, где

это мало и непринципиально, учтем его в процессе глюкозурии. Здесь запаздывание обус-

ловлено конечным временем распространения возмущения концентрации глюкозы по кро-

веносной системе. Учитывая, что за одну минуту сердце человека перекачивает практически

весь наличный объем крови, и полагая, что за один такой пассаж происходит ее полное пере-

мешивание, можно принять время запаздывания при глюкозурии равным одной минуте.

Согласно физиологическим данным, вся принятая перорально глюкоза за время до

одного часа полностью всасывается в тонком кишечнике и поступает в кровь, а затем уже в

остальные органы. Интенсивность ее поступления в кровь удобно смоделировать модифи-

цированной гауссовой кривой:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{Q}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right) - \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \right], & 0 \leq t < 2a, \\ 0, & t \geq 2a \end{cases},$$

где $2a$ – время процесса поступления в кровь экзогенной глюкозы; σ^2 – дисперсия; Q – доза или количество поступившей экзогенной глюкозы в пересчете на 100 мл крови (в случае $a \geq 3\sigma$).

Разложив функцию $F(y(t))$ в ряд по степеням аргумента отдельно при положительных и при отрицательных его значениях и ограничиваясь линейным приближением, получим уравнение для рассогласования $y(t)$:

$$\begin{aligned} y'(t) &= (1 - \alpha)f(t) - \beta^{\mp} y(t - \tau^{\mp}) - \gamma Es(y(t-1) + g_B - g^*), \quad t \geq 0, \\ y(t) &= \phi(t) = 0, \quad -\tau \leq t \leq 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где индекс "–" берется при положительных значениях функции $y(t)$; а "+" – при ее отрицательных значениях; α – коэффициент интенсивности утилизации глюкозы, контролируемой инсулином, при ее экзогенном поступлении; $\beta^{\mp} > 0$ – параметры интенсивности обратной отрицательной связи в системе регуляции уровня глюкозы в крови; τ^{\mp} – время запаздывания в этой системе регуляции, обладающей инерционностью (β^- и τ^- – коэффициент интенсивности и время запаздывания в базальной гипогликемической регуляции, осуществляемой инсулином при гипергликемических отклонениях уровня глюкозы в крови от базального значения, β^+ и τ^+ – коэффициент интенсивности и время запаздывания в базальной гипергликемической регуляции при гипогликемических отклонениях, осуществляемой контррегуляторными гормонами в процессах гликогенолиза и глюконеогенеза); γ – параметр, характеризующий интенсивность глюкозурии при превышении концентрации глюкозы в крови почечного порога реабсорбции.

В каждый момент времени t это уравнение с начальной функцией (3) сводится к элементарной задаче нахождения неизвестного значения функции $y(t)$ по ее известной производной:

$$y(t) = \int_0^t \left[(1 - \alpha)f(s) - \beta^{\mp} y(s - \tau^{\mp}) - \gamma Es(y(s-1) + g_B - g^*) \right] ds. \quad (4)$$

Интеграл в правой части формулы (4) вычисляется с помощью квадратурной формулы.

Согласно данному алгоритму была составлена программа вычислений на ПЭВМ, по которой проводится численный анализ. В процессе численных экспериментов методами идентификации математических моделей биологических систем находят числовые значения параметров задачи, соответствующие клиническим гликемическим данным. Эти параметры имеют конкретный физиологический смысл, численные значения каждого из них определяют вид гликемической кривой на соответствующем ее участке. Величина параметра a , второго по значимости после базального уровня гликемии в диагностике состояния регуляции углеводного обмена, определяет максимум посталиментарного подъема гликемии. Параметры β^- и τ^- , каждый в отдельности, определяют первую фазу переходного процесса (понижения уровня гликемии), β^+ и τ^+ – соответственно вторую его фазу (последующего подъема уровня гликемии). Значения параметров γ и g^* находятся по данным глюкозурии и существенны лишь при глубоких нарушениях регуляции углеводного обмена типа сахарный диабет. В качестве примера проведена идентификация коэффициентов модели по клиническим данным перорального глюкозотолерантного теста в норме, взятым из работы [13]. Глюкозной нагрузке в 30 г и гликемическим значениям в плазме крови $g_B = 90 \pm 3$ мг%, $g(30) = 146 \pm 6$ мг%, $g(60) = 147 \pm 9$ мг%, $g(120) = 93 \pm 6$ мг%, $g(180) = 77 \pm 4$ мг% соответ-

ствуют значения коэффициентов модели: $a = 0,8577$, $\beta^{\mp} = 0,017 \frac{1}{\text{мин}}$, $\tau^{\mp} = 40$ мин,

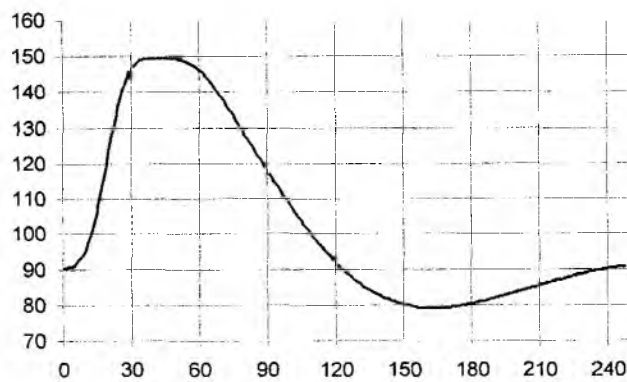


Рис. 2.

$\gamma = 0,0091$, $g^* = 170$ мг%, $Q = 600$ мг%, $a = 21$ мин, $\sigma = 7$ мин. При сопоставлении расчетной гликемической кривой с клиническими данными (рис. 2) очевидна очень высокая степень их согласованности, что с учетом воспроизведения всех качественных особенностей гликемической кривой позволяет считать предлагаемую модель физиологически адекватной.

Таким образом, по численным значениям параметров модели, определяемым по клиническим данным перорального глюкозотолерантного теста, можно проводить достаточно точную дифференцировку разных случаев нарушений толерантности к глюкозе. Это позволяет принципиально улучшить раннюю диагностику сахарного диабета. Появляется возможность строить более определенные заключения о перспективах нормализации состояния с данным конкретным нарушением толерантности к глюкозе либо о его поздних сосудистых осложнениях и развитии сахарного диабета.

Список литературы: 1. *Bolie V.W.* Coefficients of normal blood glucose regulation // *J. Appl. Physiol.* 1961, Vol. 16. P. 783- 788. 2. *Bergman R.N., Cobelli C.* Minimal modeling, partitional analysis and the estimation of insulin sensitivity // *Fed. Proceedings.* 1980. Vol. 39. P. 110-115. 3. *Древаль А.В.* Анализ результатов перорального теста толерантности к глюкозе с помощью математической модели // *Лабораторное дело.* 1985, № 12, С. 737-741. 4. *Albisser A.M., Spencer W. J.* Electronics and the diabetes // *IEEE Trans. Ser. BME.* 1982. Vol. 29, № 4. P. 239-248. 5. *Математическая теория системы сахара крови* / Ю.Г. Антомонов, С.И. Кифоренко, И.А. Микульская, Н.К. Пароконная. К.: Наукова думка, 1971. 83с. 6. *Методы математической биологии* / Под ред. В.М. Глушкова. // Кн. 4: Методы идентификации математических моделей биологических систем. К.: Вища школа, 1982. 191 с. 7. *Сахарный диабет: Доклад Исследовательской группы ВОЗ* // Серия технических докладов ВОЗ, № 727. М.: Медицина, 1987. 126 с. 8. *Сунцов Ю.И., Кудрякова С.В.* Эпидемиология нарушений толерантности к глюкозе // *Проблемы эндокринологии.* 1999. N. 45, № 2. С. 48-52. 9. *Сахарный диабет* / П. Петридес, Л. Вайсс, Г. Леффлер, О. Вийланд. Москва. 9а. *Albisser A.M., Spencer W. J.* Electronics and the diabetes // *IEEE Trans. Ser. BME.* 1982. Vol. 29, № 4. P. 239-248. 10. *Клиническая оценка лабораторных тестов* / Под ред. Н.У.Тица. М.: Медицина, 1986. 356 с. 11. *Биохимия человека: В 2-х т.* / Р. Марри, Д.Греннер, П.Мейес, В.Родуэлл. М.: Мир, 1993. Т. 1. 384 с. 12. *Эльсгольц А.Э., Норкин С.Б.* Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М.: Наука. 1971. 296 с. 13. *Дзеранова Н.Я., Шлимович П.Б.* Динамика уровня иммунореактивного инсулина в плазме крови после приема внутрь разных количеств глюкозы // *Проблемы эндокринологии.* 1971. Т. 17, № 3. С. 14-17.

Поступила в редколлегию 15.06.2000

УДК 621.375.7

А. А. ЦИБУЛЬСКИЙ, П. И. ЧЕРЕДНИКОВ

**ПОСТРОЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В настоящее время электрическое (математическое) моделирование процессов в элементах нейронных сетей находит широкое применение. Следует отметить, что в известной научной литературе [1, 2], связанной с моделированием работы нервной клетки, применяется в основном прямое копирование процессов приема, обработки и передачи информации. При этом не уделялось должного внимания биофизическим изменениям состояния структурных элементов при внешнем воздействии на биосистему. Поэтому разрешение такой проблемы при моделировании элементов нейронных сетей представляет практический интерес.

Целью работы является построение модели нейроподобного элемента на основе нелинейной параметрической системы.

На основе многочисленных литературных публикаций и исследований авторов сделано предположение, что эквивалентная электрическая модель должна состоять из реактивных элементов и потерь. При этом в качестве структурных элементов выступают: концентрация белковых доменов, проницаемость мембраны сомы, проводимость ионных каналов, что может соответствовать индуктивности, емкости и сопротивлению соответственно. Наличие индуктивности биологической мембраны было доказано еще Ходжкиным и Хаксли при мостовых измерениях импеданса. Они экспериментально показали, что в мембране имеется индуктивная компонента тока при малых амплитудах переменного тока в диапазоне от 30 Гц до 200 кГц. Значение индуктивности составляло порядка 0,2 – 0,39 Гн. Такая индуктивность представляется слишком большой, чтобы ее можно было связать с магнитным полем.

Известно, что при воздействии на биологическую систему "слабых" сигналов (импульсов) ответная реакция приводит к скачкообразным процессам с большой мощностью. Т. е. можно утверждать, что изменения в структурных элементах нейрона, как и при интенсивном воздействии в электрической цепи, приведут к нелинейным эффектам. В частности нелинейность в нейроне обусловлена ионными токами, протекающими через мембрану сомы в зависимости от состояния ее структурных элементов в момент Δt . И как уже отмечалось ранее, нелинейность проявляется и при преобразовании входящих по аксону сигналов: короткие импульсы с амплитудой, зависящей от текущего состояния синапсов.

Интерес авторов к нелинейности в нейроне связан еще и с тем, что в основном моделирование процессов в нервной клетке выполняется для вычислительной среды, а специалисты области нейрокомпьютеров для описания процессов в нейроподобных элементах используют нелинейные функции – бинарные или сигмоидные. Однако в таких моделях нейрона пренебрегаются многие характеристики биологического прототипа. Например, в них не учитываются: нелинейность пространственно-временной суммации, которая особенно проявляется для сигналов, входящих по возбуждающим и тормозящим синапсам, различного рода временные задержки, эффекты синхронизации и частотной модуляции, рефрактерности.

Таким образом, можно предположить, что мембрана сомы является нелинейным колебательным контуром с электрически меняющимися параметрами. Последнее утверждение дает основание считать, что контур является нелинейной параметрической системой. Многочисленные исследования и публикации в области электрофизиологии и биофизики клеточных структур дают основание считать, что дендритное дерево (постсинапсы) и аксон (пресинапсы) также являются колебательными контурами. Причем дендритное дерево формирует потенциал возбуждения, а мембрана сомы, в результате определенных химических реакций, – потенциал действия. Аксон, в свою очередь, представляет собой низкодоброт

ный полосовой фильтр. Ядро клетки является источником электромагнитных и акустических волн. Другими словами, ядро является генератором накачки, поддерживающий механизм неравновесности за счет ядерного потенциала. В свою очередь, внешний раствор, окружающий клетку, можно охарактеризовать как источник постоянного смещения.

На основании сказанного выше разработана эквивалентная модель нервной клетки, включающая в себя три колебательных контура, генератор накачки (e_1) и источник постоянного смещения (e_2) (рис. 1). В модели не учитываются ионные каналы Cl^- , а также процессы утечки.

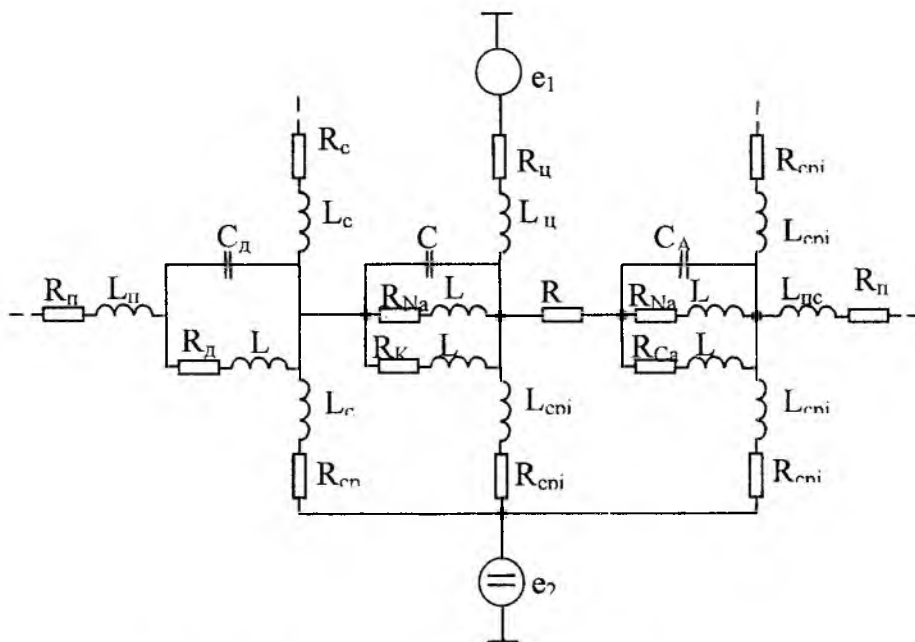


Рис. 1. Эквивалентная модель нервной клетки.

Емкость, присутствующая в каждом контуре ($C_д$, $C_л$, $C_а$), является емкостью мембраны; она эквивалентна жировым липидным доменам в оболочке мембраны. При воздействии на сому возбуждающего потенциала ток вначале протекает через емкость $C_л$, заряжая ее. Сопротивления R_l -проводимости соответствующих ионных каналов и сопротивления среды и цитоплазмы, эдентичны окружающей клетку и ядро сомы. Ионные каналы представляют собой совокупность белковых доменов.

Известно, что емкость мембраны сомы постоянна на всем протяжении потенциала действия. Вследствие этого считаем, что нелинейный параметрический контур, эквивалентный телу нейрона, является индуктивным, т. е. под воздействием возбуждающего потенциала изменяется величина индуктивности тела клетки. Точнее, изменяется проводимость ионных каналов, однако перенос ионов связан с миграцией молекул ионофоров (молекулы-переносчики), что влечет к изменению концентрации ионофоров как внутри клетки, так и в околочлеточном пространстве. Таким образом, изменение концентрации белковых молекул-переносчиков эквивалентно изменению индуктивности, а поскольку характер изменения проводимостей каналов нелинейный, то и зависимость индуктивности будет нелинейной.

В целях удобства рассмотрения эквивалентной электрической модели нейрона проведено упрощение схемы. Так, сопротивления R_{Na^+} и R_K^+ , R_{Na^+} и $R_{Ca^{2+}}$, и индуктивности L_{Na^+} и L_K^+ , L_{Na^+} и $L_{Ca^{2+}}$ (в соответствующих контурах) по законам электротехники сведены к одному элементу R и L соответственно.

Используя математический аппарат, описаны (в общем виде) происходящие в модели нейрона, а следовательно, и в реальной нервной клетке процессы в виде дифференциальных

уравнений. Для их составления модель представлена в виде распределенной системы. Такое представление возможно в результате того, что в нейроне, как и в распределенной системе, невозможно выделить ни одной локальной области, эквивалентной дискретному компоненту обычной схемы. Это связано также и с тем, что биологическая система (организм, клетка) фактически представляет собой сплошную, или континуальную среду, заполненную потенциалом и током, которые являются непрерывными функциями положения точки в пространстве, а не характеристиками дискретных элементов. Использование распределенной системы позволило представить электрическую модель системы в виде лестничного соединения элементов на трех Г-образных звеньях. Вследствие идентичности звеньев анализ целесообразно было свести к одному звену с рассмотрением элементарного участка Δx (рис. 2). Каждый элемент лестничного соединения описывается операторами A_x и B_x . Элементы лестничного соединения в совокупности представляют линейную модель с проводящими сердечниками (операторы A_x и B_x) для случая ограниченного внеклеточного пространства.

Электрические процессы, ориентированные в поперечном направлении, зависят от свойств мембраны клетки. Существует два состояния, представляющие интерес. Первое из них – подпороговое возбуждение, когда каждый элемент мембраны ведет себя как пассивная RC-цепочка. Второе – надпороговое (или околопороговое) возбуждение, когда поведение мембраны нелинейно и требует математического описания. В данной работе рассматривается второе состояние мембраны клетки.

С учетом изложенного выше построена электрическая управляемая модель нервной клетки на основе параметрической зонной системы [3]. Параметрическая зонная система выполнена в виде одномерного Г-образного звена (см. рис. 3). Модель содержит полосовой фильтр на элементах $R1$, $C1$, L ; параметрическая система содержит два магнитных тороидальных сердечника с обмотками накачки, включенными последовательно, и резонансными обмотками, соединенными последовательно и встречно. Модуляция параметрической системы выполняется контуром накачки, подключенным к выходу генератора накачки.

В лестничной модели (см. рис. 2) роль оператора A_x выполняет полосовой фильтр и непосредственно параметрическая система, функции B_x – линейная емкость $C2$.

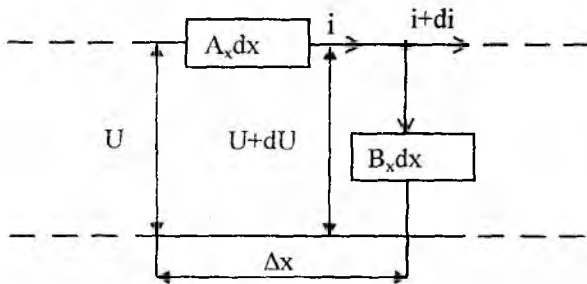


Рис. 2. Элементарный участок Δx лестничной модели.

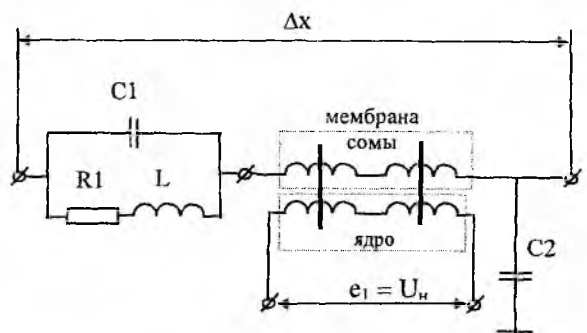


Рис. 3. Параметрическая зонная модель нервной клетки.

В предлагаемой модели реализовано представление об аналогии явлений в системах биологической природы, которое базируется на использовании нелинейного функционального пространственно-временного континуума.

Первые экспериментальные результаты показывают приемлемую аналогию процессов в биологическом нейроне и разработанной модели. Так, например, наблюдается совпадение форм потенциала действия и сопровождающих его следовых потенциалов и одного периода колебаний пазонной системы в высших зонах неустойчивости (третья зона). Изменяя активные потери путем добавления сопротивлений в соответствующие контуры, интен-

сивность внешних и внутренних сил, можно с помощью пазонной системы моделировать различные режимы функционирования нейрона (например, изменение проводимости ионных каналов, ядерного потенциала, чувствительности пресинаптических окончаний).

Анализ экспериментальных результатов дает основание считать, что при параметрическом возбуждении отсутствуют переходные процессы, реакция определяется интервалом времени перехода параметра из одного состояния в другое. Переходные процессы в модели формально могут соответствовать гиперполяризации и деполяризации клетки. В свою очередь колебания в системе до параметрического резонанса, возможно, сравнить с электротоническим процессом в клетке в невозбужденном состоянии, а параметрический резонанс с деполяризацией нейрона и генерацией потенциала действия.

Разработанная параметрическая зонная модель, включающая набор Гобразных пазонных элементов, описывается следующей математической моделью:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 i_1}{\partial x^2} &= \alpha_{11} \frac{\partial^2 f_1}{\partial t^2} + \alpha_{12} \frac{\partial i_1}{\partial t} + \alpha_{13} i_1, \\ \frac{\partial^2 i_2}{\partial x^2} &= \alpha_{21} \frac{\partial^2 f_2}{\partial t^2} + \alpha_{22} \frac{\partial i_2}{\partial t} + \alpha_{23} i_2, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\partial^2 i_n}{\partial x^2} &= \alpha_{n1} \frac{\partial^2 f_n}{\partial t^2} + \alpha_{n2} \frac{\partial i_n}{\partial t} + \alpha_{n3} i_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где $i_{1,2,3}$ и $f_{1,2,3}$ – функции, зависящие от зарядов и потокоцепления контуров; $\alpha_{11} - \alpha_{n3}$ – постоянные коэффициенты, включающие геометрические и электрические параметры контуров.

Аналогичная система получается и относительно напряжения. Для многих задач нелинейную зависимость отклика системы $\Psi (\Psi \approx swB$, где Ψ – потокоцепление, s – сечение магнитопровода, w – число витков, B – магнитная индукция при единичных значениях площадей и витков магнитных сердечников) на внешнее воздействие тока i накачки можно аппроксимировать гиперболическим синусом $i = \alpha l \cdot \text{sh} \beta \Psi$, где α и β коэффициенты аппроксимации; l – средняя длина магнитной линии в сердечнике. С учетом принятой аппроксимации преобразуем одно из уравнений системы к виду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 i_1}{\partial x^2} &= \frac{1}{\omega^2(t)} \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + \alpha(t) \frac{\partial i}{\partial t} + \xi(t) i, \\ \omega^2(t) &= \frac{1}{L_D C}; \quad \alpha(t) = [\sigma L_D + RC + CL'_D(t)]; \quad \xi(t) = [\sigma(R + L'_D(t)) + CL''_D(t)]; \\ L_D &= L_C = \frac{L_C}{ch\beta} B; \quad L_C = \frac{sw^2}{\alpha\beta} l, \end{aligned}$$

где $\omega(t)$ – мгновенная скорость подсистемы; $\alpha(t)$ – коэффициент демпфирования; $\xi(t)$ – коэффициент расстройки; L_D и L_C – динамическая и статические индуктивности; $L'_D(t)$, $L''_D(t)$ – первая и вторая производные L_D .

В процессе работы была установлена биопазонная система аналогий, в которой концентрация белковых молекул эквивалентна индуктивности, проницаемость мембраны – емкости, проводимость ионных каналов – сопротивлению.

Теоретические и экспериментальные исследования поведения зон эволюции модели дают основания считать, что для устойчивых зон (пассивное состояние нейрона) характерно не только отсутствие движения (отсутствие колебаний в системе), но при определенных условиях и возникновение периодических и случайных движений. К таким условиям можно отнести: изменение температуры среды, в которой располагается клетка, воздействие радиации, электромагнитных полей и пр.

Модель обеспечивает исследования автоволновых процессов как процессов самоорганизации открытых, существенно нелинейных и сильно неравновесных систем, которыми, в сущности, и являются нейроны, а также приемлемую достоверность моделирования основных функциональных свойств нейрона. Это достигается установлением соответствия отдельных нелинейных процессов, протекающих в биологическом нейроне, и соответствия между отдельными элементами структуры нейрона и элементами модели, выполняющих аналогичные функции. Модель имеет простое схемное и конструктивное решение. Разновидности модели (использование различных сердечников для параметрического контура мембраны сомы) расширяет ее функциональные возможности и упрощает изготовление при построении вычислительных средств.

Разработанная модель элемента нейронной сети на основе параметрической зонной системы может быть использована при построении самоорганизующейся и саморазвивающейся вычислительной среды в кибернетических системах, а также как устройство для исследований поведения параметров модели эквивалентным характеристикам биологической нервной клетки. Возможно использование результатов разработки в учебных дисциплинах, специализирующихся на изучении биоэлектрических показателей организма как в целом, так и отдельных его составляющих.

Список литературы: 1. Плонси Р., Барр Р. Биозлектричество: Количественный подход: Пер. с англ. М., 1991. 366 с. 2. А.с. №1169614 (СССР). Способ определения биологического возраста человека / ХГУ, В.Г.Шахбазов. Оpubл. 30.10.81. бюл. №5. МКИ А 61 В 10/00. 3. А.с. №1681322 (СССР). Способ моделирования эволюции материи / ХИРЭ, П.И. Чередников. Оpubл. 30.09.91, бюл. №36, МКИ G09 В 23/06.

Поступила в редколлегию 17.10.2000

УДК 681.3

В. В. ЛЯШЕНКО

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Практически во всех задачах обработки изображений используются какие-либо математические модели. Роль модели изображения в процессе получения информации состоит в адекватном описании существенных свойств класса изображений, позволяющем строить эффективные вычислительные процедуры.

Математически изображение описывается функцией пространственных координат $b(x, y)$, связанной с наблюдаемой сценой некоторым оператором. Наибольшее распространение получило дискретное представление изображения в виде матрицы

$$B_{MN} = \{b(x, y); 1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N\},$$

содержащей дискретные отсчеты элементов изображения в узлах целочисленной решетки, соответствующей прямоугольному разложению плоскости изображения [1-4]. Величины M и N определяют размерность матрицы – число элементов в столбце и строке изображения соответственно. Преимуществами такого представления является простота, наглядность, компактность и унификация доступа при хранении и обработке информации.

Ряд методов обработки изображений связаны с понятием "причинность" (каузальность) [1, 4]. В данном случае изображение $b(x, y)$ рассматривается как реализация двумерного случайного поля, где n и m заданы на некоторой конечной прямоугольной сетке. Предполагается, что выборки случайного поля $\{b(n, m)\}$ расположены в любой одномерной упорядоченной последовательности $\{b(k)\}$. Тогда \bar{b}_{nm} будет каузальным представлением b_{nm} , если оно зависит только от элементов, стоящих в последовательности перед элементом b_{nm} . Если оценка \bar{b}_{nm} каузальная по одной координате и не каузальная – по другой, то она называется полукаузальным предсказателем. Величина \bar{b}_{nm} считается некаузальным предсказанием b_{nm} , если ее можно записать в виде линейной комбинации практически всех переменных случайного поля, за исключением самой величины b_{nm} . Наглядным примером указанного выше может служить двумерное изображение, где любая каузальность, связанная с изображением, полностью определяется методом сканирования или поиска [4].

В каузальной модели изображение представляется в виде выхода линейного сканирующего устройства, поэтому алгоритмы обработки, присущие данному типу моделей, по своей природе являются рекуррентными. Следует отметить, что двумерные изображения в общем случае не обладают каузальностью, поэтому рекуррентные методы должны охватывать области внутри границ. Такое свойство моделей плюс связанная с ними алгоритмическая сложность требует применения к проблеме обработки изображений более прямых подходов. Методы каузального представления применимы при построении рекурсивных фильтров, предназначенных для сглаживания шумов и восстановления размытых изображений, а также для сжатия данных при передаче в реальном времени [1].

Полукаузальным моделям соответствуют гибридные алгоритмы, которые основаны на преобразованиях нерекуррентных в одном измерении и рекуррентны в другом. Эти модели используются для сжатия видеоданных в реальном времени, в задачах восстановления, сглаживания шума, оценивания спектра.

Корреляционные методы обработки занимают особое место в обработке сигналов. С одной стороны, это обусловлено достаточно развитым математическим аппаратом и, как следствие, сравнительно прозрачной программно-аппаратной реализацией, с другой – высокой надежностью и помехозащищенностью. Однако, наряду с таким преимуществом, они обладают одним существенным недостатком – высокой комбинаторной сложностью. Поэтому весьма актуальной является задача разработки новых подходов в применении методов корреляционной обработки. Одним из приемов, понижающих вычислительные затраты корреляционных алгоритмов, является применение методов распараллеливания.

Некаузальные модели наиболее широко применяются в качестве моделей со скользким средним.

Другой подход при построении математических моделей изображений основан на взаимосвязи между элементами изображения и подразделяется на статистические и структурные модели [4]. Статистические модели позволяют описать изображение в терминах статистических свойств элементов изображения, например, их спектральных, корреляционных характеристик, распределению вероятности и т. п. Структурные модели описывают изображение на основе однородных областей и правил их размещения.

Описание моделей, основанных на элементах изображения, ограничивается заданием характеристик пространственного распределения отсчетов $b(x, y)$ элементов изображения. Разновидностью такой модели является модель независимых переменных, описывающая изображение случайным полем белого шума или текстурой с заданной гистограммой, имеющая ограниченное применение для практических задач. Способность охватывать пространственную структуру вводится в модель посредством задания взаимосвязи между элементами изображения. Установление отношений взаимосвязи в двумерном множестве соседней обеспечивается моделями пространственного взаимодействия, моделями временных рядов, моделями случайного поля. К числу моделей, основанных на элементах изображения, относятся также синтаксические модели, в основе которых лежит представление объектов изображения в виде комбинации символов некоторого алфавита [1].

Модели, основанные на областях, рассматривают изображение как множество областей определенными свойствами, размещенных в плоскости изображения в соответствии с некоторой группой правил. Вид и свойства областей могут задаваться статистически, сами области могут включать в себя более мелкие подобласти. Такие модели получили распространение для описания изображений, образованных множеством ограниченных однородных участков с близкими геометрическими и пространственными характеристиками в поле изображения. При описании пространственно неоднородных изображений, включающих различные типы областей, каждый тип подобласти описывается некоторой локальной моделью [1-3].

Примером моделей, основанных на областях, служит подкласс мозаичных моделей описывающих изображение как мозаичную структуру, образованную разбиением плоскости изображения на однородные по некоторому признаку элементы, подкласс моделей покрытия, рассматривающих изображение как случайное размещение некоторого множества объектов или областей с характерными свойствами на однородном фоне.

Модели разбиения на области позволяют в общем случае извлечь больше информации из изображения, чем модели статистик распределения. Однако в таких моделях приходится решать вопросы взаимодействия между областями и учитывать различие переходов между границами область – область и область – фон, формализовать такие понятия, как форма и размер области.

В последнее время широкое распространение получили модели, основанные на понятиях теории нечетких множеств [5-11]. Одним из основных приложений теории нечетких множеств в задачах обработки изображений является классификация и распознавание образов. Это связано с тем, что классификация и распознавание являются ключевыми понятиями

ми в обработке изображений. Классификация возникает в результате установления связей между элементами множества, выяснения того, какие из них нужно, а какие нельзя рассматривать связанными некоторым отношением. В классической модели не могут остаться элементы, не охваченные классификацией, и элементы, проклассифицированные дважды. Это наиболее желаемый результат, но при любой постановке задачи классификации могут встретиться элементы, для которых можно говорить лишь о степени принадлежности к классам. В этом случае булева логика оказывается неприменимой и выявляется важность собственной глубокой логики возникшей проблемы [5].

Различные подходы к задаче классификации, основанные на понятиях теории нечетких множеств, рассматривались ранее [6-9]. В частности, описаны методы, основанные на нечетких отношениях сходства, которые обобщают многие известные методы, использующие графовый подход [6]. Другой подход основан на транзитивном замыкании исходного отношения сходства. Показано, что такая процедура совпадает с хорошо известным алгоритмом кластеризации "ближайший сосед".

Многие иерархические алгоритмы кластеризации также могут быть проинтерпретированы на языке нечетких отношений [7, 9]. Нечеткие отношения эквивалентности определяют на своих α -уровнях вложенную систему разбиений множества объектов. Аналогичную систему разбиений строят и иерархические алгоритмы кластеризации, исходной информацией для которых служит матрица сходства между объектами множества [6]. Таким образом, иерархические алгоритмы кластеризации можно рассматривать как некоторые процедуры преобразования заданного отношения сходства в нечеткое отношение эквивалентности, а задачу иерархической кластеризации можно рассматривать как задачу поиска оптимальной в определенном смысле процедуры подобного преобразования.

Применение процедур классификации, основанных на использовании теории нечетких множеств, к задачам обработки изображений вызваны следующими недостатками и особенностями классических подходов:

1. Большинство классических методов опирается на эвристические соображения, возникающие из конкретных приложений понятия классификации к частным задачам. Попытки расширить сферу применимости выведенных таким образом процедур часто дают неудовлетворительные результаты. Применение этих методов при решении конкретных задач приводит к различным классификациям, зависящим от использования процедуры и природы изображения.

2. Большинство процедур пытались применить для классификации точек по принадлежности к подходящим множествам по степени подобия между точками выборочных данных. Но это недостижимая цель для большинства практических реализаций, и так поставленная проблема может не иметь решения.

Анализ приведенных выше подходов к различным задачам анализа и обработки изображений, свидетельствует о важности и актуальности проблемы выбора модели и метода обработки изображений. В настоящее время разработано множество практических моделей, обеспечивающих аналитическую базу решения различных прикладных задач обработки изображений. Однако, несмотря на важную роль моделирования в разработке процедур обработки изображений, модели, применяемые на практике для нетривиальных классов изображений, как правило, являются слишком упрощенными. Даже при наличии достаточно корректной модели изображение может иметь множество возможных описаний, среди которых лишь некоторые удовлетворяют модели. Стремление представить описание изображения с большей точностью ведет к существенному усложнению моделей и значительному росту вычислительных затрат на их представление и обработку. В то же время разработка новых моделей описания изображений, учитывающих преимущества представления изображения в виде матрицы, и тот факт, что изображение по природе своей – хороший объект для приме-

нения параллельных методов, позволяет строить более эффективные алгоритмы обработки. Многообразие подходов также позволяет понять взаимосвязь между различными математическими моделями и более полно описывать процесс анализа изображений.

Список литературы: 1. *Прэтт В.* Цифровая обработка изображений: В 2 кн. М: Мир 1982. 790 с. 2. *Марр Д.* Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработк. зрительных образов. М: Радио и связь, 1987. 400 с. 3. *Пуятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. М: Машиностроение, 1990. 320 с. 4. *Системы технического зрения* / Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. Л: Машиностроение, 1988. 424 с. 5. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с. 6. *Нечеткие множества и теория возможностей* / Под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 405 с. 7. *Chaudhuri B.B., Rosenfeld A.* On a metric distance between fuzzy sets // Pattern Recognition Letters. 1996. 17(11). P. 1157-1160. 8. *Kong T.Y., Rosenfeld A.* Special issue on topology and geometry in computer vision. // Journal of Mathematical Imaging & Vision. 1996. 6 (23). P. 107. 9. *Canter F.* Evaluating the uncertainty of area estimates derived from fuzzy landcover classification. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1997. 63 (4). P. 403-414. 10. *Fuzzy Homogeneity Approach to Multilevel Thresholding* / H.D. Cheng, C.H. Chen, H.H. Chiu, H. Xu // IEEE TRANSACTIONNS ON IMAGE PROCESSING. 1998. Vol. 7, No. 7. P. 1084-1089. 11. *Chatzis V., Pitas I.* Fussy Scalar and Vector Median Filters Based on Fuzzy Distances // IEEE TRANSACTIONNS ON IMAGE PROCESSING. 1999. Vol. 8, No. 5. P. 731-734.

Поступила в редколлегию 2.11.2000

УДК 658.512.22

В. М. КУЗЬМЕНКО, Л. Ф. НЕНЫКО

МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИДЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Имитационное моделирование является одним из основных средств изучения систем различного класса [1]. Однако широкое использование методов имитационного моделирования сдерживается необходимостью привлечения для разработки имитационных моделей специалистов и необходимостью проверки их адекватности реальному процессу [2]. Для устранения этих проблем предложено использование в качестве основного элемента модели технологического процесса идеограммы (рис. 1), который имеет 3-уровневую структуру [3]. Под идеограммой Id_o ($o = \overline{1, O}$) понимается [3] совокупность логического (l), концептуального (k) и физического (f) уровней описания элементов технологического процесса.

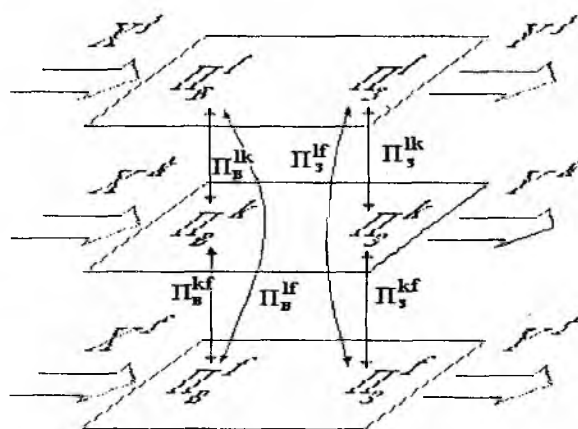


Рис. 1. Структура идеографического элемента.

Логический уровень описания элемента – это визуальное изображение определенного элемента технологического процесса, физический – это программный модуль-модель элемента технологического процесса, а концептуальный – система соглашений и правил, позволяющие преобразовывать логическое описание в физическое, и наоборот. Идеографический элемент выполняет определенную функцию $Y = F(X)$, описывается планом содержания $Пс$ и планом отображения $По$, аксиомой e и порогом вычисления p [3]. Под планом содержания $Пс$ идеографического элемента Id_o понимают математическое выражение, описывающее как преобразования входных переменных в выходные, так и способ этого преобразования, под планом отображения $По$ – графическое отображение этого преобразования, под аксиомой e – количество и степень отношения между входными и выходными переменными, а под порогом вычисления p – количество входов в идеограмме. Считается, что идеографическая сеть Is однозначно описывает моделируемую систему. Использование идеографического подхода для конкретного приложения требует конкретизации списка идеографических элементов, их планов отображения, аксиом и порогов вычисления.

Формализация технологических процессов экспедирования периодических изданий [5] позволяет отнести их к системам массового обслуживания, которые достаточно полно описываются как Q -схемы в виде [4]:

$$Q = (W, Ob, Sp, S, B, A), \quad (1)$$

где W – подмножество входящих потоков заявок; Ob – подмножество потоков обслуживания; B – оператор сопряжения элементов структуры; Sp – подмножество собственных параметров; A – оператор алгоритмов обслуживания заявок; S – оператор состояний элементов системы.

Алгоритмическую модель процесса обработки заявок в системах массового обслуживания можно представить как

$$Am = \langle \{a_q\}, \beta, In \rangle, \quad (2)$$

где a_q – совокупность элементарных операторов; β – линейный порядок на $\{a_q\}$; In – инициатор выполнения последовательности операторов a_q .

Структура элементарного оператора имеет вид $a_q = \langle a_q^c, a_q^y \rangle$, где a_q^c, a_q^y – q -е элементарные операторы состояния и условия, соответственно. Элементарный оператор a_q^y формирует условия, при выполнении которых происходит сцепление оператора a_q со следующим оператором a_{q+1} путем некоторого логического условия, а оператор a_q^c – вычисляет состояние S_q процесса ($S_q \in S$). Инициатором In выполнения последовательности операторов a_q является поток заявок на обслуживание W_q . Поэтому $a_q^y = \langle a_q^t, a_q^n \rangle$, где a_q^t – задает момент времени сцепления инициатора In с оператором a_{q+1} , а a_q^n – логическое условие. Совокупность $\langle \{a_q\}, \beta \rangle$ представляет собой трек инициатора In . Анализ операторов a_q позволяет выделить базовый набор операторов $\{a^{\bar{b}}\}$, полагая, что для любого a_q можно найти соответствующий оператор $a^{\bar{b}}$. К основным базовым операторам, которые описывают технологический процесс экспедирования периодических изданий, можно отнести: оператор накапливания $a_n^{\bar{b}}$, оператор задержки на обслуживание $a_3^{\bar{b}}$, оператор объединения потоков в один $a_0^{\bar{b}}$, оператор разделения потоков $a_p^{\bar{b}}$.

Оператор накапливания $a_n^{\bar{b}}$ обеспечивает накапливание элементов входящего потока до заданного количества. Оператор задержки на обслуживание $a_3^{\bar{b}}$ имеет две разновидности: $a_3^{\bar{b}}(\Delta t)$ – задержки на время Δt , $a_3^{\bar{b}}(\tau)$ – задержки на время τ . Операторы $a_3^{\bar{b}}(\Delta t)$ и $a_3^{\bar{b}}(\tau)$ отличаются тем, что первый из них осуществляет задержку на стандартное время, которое равно Δt и которое заранее определено, а второй – задержку на изменяемое время τ , которое задается перед выполнением операции задержки. Операторы объединения потоков $a_0^{\bar{b}}$ и их разделения $a_p^{\bar{b}}$ имеют две разновидности: $a_0^{\bar{b}}(c), a_p^{\bar{b}}(c)$ – свободного объединения и разделения потоков соответственно; $a_0^{\bar{b}}(y), a_p^{\bar{b}}(y)$ – управляемого объединения и разделения потоков

ков соответственно. При свободном объединении заявки объединяются в единый поток по мере поступления, а при разделении – по мере освобождения выходов. При управляемом – объединение и разделение потоков осуществляется с использованием определенного закона (алгоритма). В соответствии с идеографическим подходом каждый из базовых операторов представляется в виде элементарных идеограмм. Кроме того, так как технологическое оборудование и помещение, в котором оно размещено, имеет определенные пространственные размеры, то идеографический элемент должен соответствовать определенной единице оборудования, которая имеет свои пространственные размеры. Для идеографического описания процессов экспедирования периодических изданий выбраны квадратные размеры идеографического элемента. Это позволило ограничить суммарное количество входов и выходов идеографического элемента четырьмя.

Идеографическое описание структуры технологического процесса строится на основе использования:

1. Макета помещения, в котором располагается технологическое оборудование.

Макет помещения является совокупностью ячеек графической матрицы

$$Zm = \{Zm_{\varepsilon\chi}^c\}, (\varepsilon = \overline{1, E}, \chi = \overline{1, X}).$$

Ячейки матрицы делятся на два вида: $Zm_{\varepsilon\chi}^c$ – ячейки занятые строительными элементами: колонами, лестницами, окнами, стенами и т. п.; $Zm_{\varepsilon\chi}^o$ – ячейки, используемые для размещения технологического оборудования. Макет помещения строится путем определения его размеров, размеров ячеек и заполнения их идеограммами строительных элементов Id^c ;

2. Идеограмм элементов (устройств) технологического процесса Id^o .

3. Идеограмм элементов (устройств) технологического процесса Id^o . Идеограммы элементов технологического процесса представляют собой графическое изображение конкретных технических устройств и рабочих мест обработки периодических изданий, входящих в технологический процесс.

Идеографическая сеть Is технологического процесса, в этом случае, является совокупностью ячеек:

$$Is = \{Zm_{\varepsilon\chi}^c, Zm_{\varepsilon\chi}^o\}, \quad (3)$$

где $Zm_{\varepsilon\chi}^c$ – строительные элементы помещения; $Zm_{\varepsilon\chi}^o$ – элементы технологического оборудования.

Палитра идеографических элементов $Id = \{Id^o\}$ состоит из палитры технологического оборудования $Id^o = \{Id^o\}$ (табл. 1) и палитры строительных элементов $Id^c = \{Id^c\}$ (табл. 2).


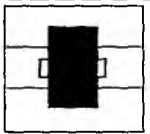
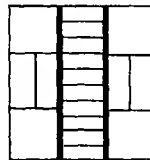
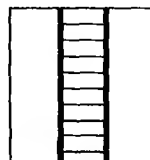
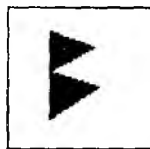
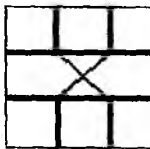
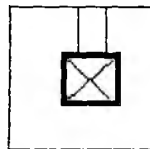
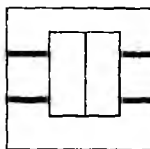
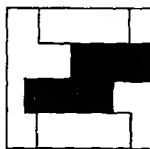
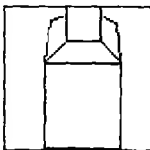
Синтез идеографической модели (Is) выполняется с использованием следующих правил [3]:

– объединение Id^o в Is осуществляется с учетом ориентации дуг идеографических элементов;


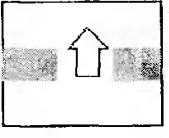

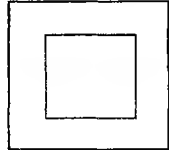
– идеографический элемент может иметь несколько входов и выходов, но их общее число не должно превышать четырех;

– выходные данные идеографического элемента Id^o являются входными данными другого $Id^{o'}$ ($o' \in O$), если они имеют совместную аксиому e и порог p вычисления;

Палитры идеографических элементов технологического оборудования

Id_o^o	Класс	Наименование	Назначение	Примечание	Идентификатор	$По(Id_o^o)$
1	Транспортеры	Главный подвесной конвейер	Транспортирование газетного потока	Могут быть подключены к газетным транспортерам с одинаковой высотой	K1	
2		Потоковый конвейер	Передача пачки на обработку		K2	
3	Транспортеры	Главный роликовый конвейер со снятием пачек	Снятие пачек со стола выклада с последующей передачей на обработку	Отправляет пачки на пачковязальную машину	K3	
4		Главный роликовый конвейер без снятия пачек	Транспортирование газетного потока	Снятие пачек вручную	K4	
5	Машина печати	Фальц-аппарат	Создание потока сфальцованных газет	Подключение к газетному транспортеру	M1	
6	Распределительные устройства	Пневматический отсекаТЕЛЬ	Передача определенного количества пачек на каждую точку погрузки	Устанавливаются поперек конвейера	R1	
7		Неподвижный отсекаТЕЛЬ	Передача пачек, которые остались, в точку погрузки	Устанавливаются поперек конвейера	R2	
8	Устройство формирования стоп	Стол выклада	Формирования пачек из потока газет		S1	
9		Пачковязальная машина	Крестообразная обвязка пачек		S2	
10	Транспортные средства	Автомобиль	Транспортирование посылов	Погрузка в соответствии с документами	T1	

Палитра идеографических строительных элементов

Наименование строительного элемента	Данные об установке	Габаритные размеры	Идентификатор	$Po(Id_o^c)$
Колона		1×1	Col	
Дверной проем	Прямо	2×3	Exe	
Стена помещения	Горизонтально	0,7	St1	
Оконный проем	Горизонтально	3	W1	
Отверстие между этажами		2×2	Ot	

– комплексирование идеографических элементов в идеографическую сеть осуществляется на основе планов отображения $Po = \{Po^l, Po^k, Po^f\}$, а проверка правильности комплексирования – на основе плана содержания $Pc = \{Pc^l, Pc^k, Pc^f\}$;

– возможность объединения двух идеографических элементов в ансамбль $Id \in (Id_o, Id_o')$ определяется аксиомой вычисления $e(Id_o, Id_o')$.

Полученные результаты позволили разработать процедуры построения идеографической модели технологического процесса и процедуры генерации имитационной модели процесса.

Идеографическая модель технологического процесса строится на основе использования палитры идеографических элементов путем размещения их в матрице, соответствующей размерам производственного помещения, в котором выполняется экспедирование периодических изданий (рис. 2). Оценка правильности компоновки идеографической сети Is осуществляется на каждом шаге размещения идеографических элементов Id_o в матрице путем проверки правил синтеза. На основе полученной идеографической модели технологического процесса Is генерируется имитационная модель технологического процесса $M(Tn)$.

Описанный выше метод использован для разработки системы имитационного моделирования технологических процессов экспедирования периодических изданий. Система реализована в среде Windows на языке Visual C++.

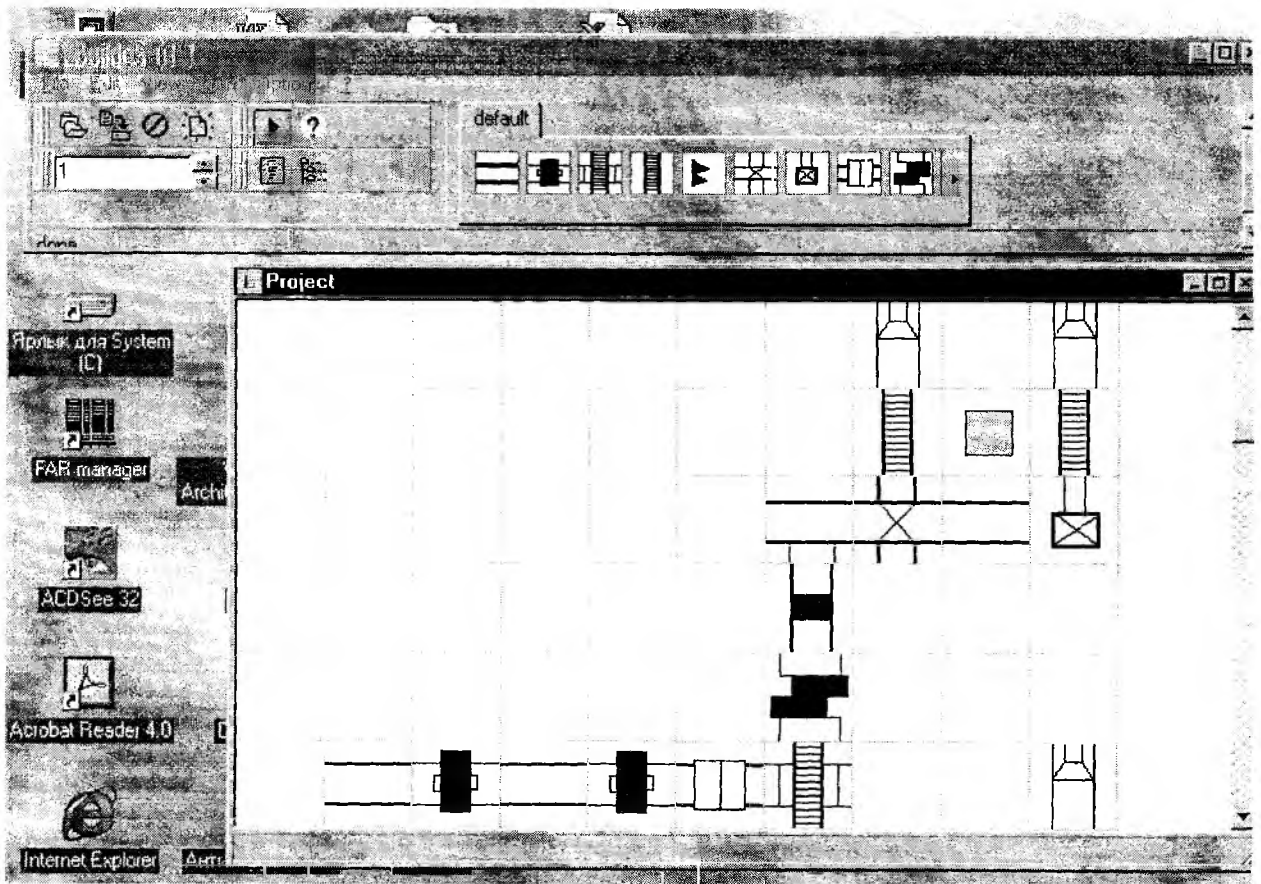


Рис. 2. Диалоговая среда системы имитационного моделирования.

Список литературы: 1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М: Наука, 1978. 399 с. 2. Разработка САИР: В 10 кн. Кн. 9: Имитационное моделирование: Практик. пособие / В.М. Черненький; Под ред. А.В. Петрова. М: Высш. шк., 1990. 112 с. 3. Кузьменко В.М. Інформаційна технологія імітаційного моделювання на основі ідеографічного підходу // Вестник ДМСА, 1999. № 3. С. 24-37. 4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М: Высш. школа, 1985. 271 с. 5. Кузьменко В.М., Ненько Л.Ф. Задача составления оптимального расписания формирования сборных пачек при экспедировании // Радиозлектроника и информатика, 2000. № 2. С. 54-56.

Поступила в редколлегию 3.11.2000.

УДК 519.687

В. А. ГРЕБИННИК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРНЫХ ЗНАНИЙ В ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ. УНИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛОВ

Логическая модель представления знаний, основанная на логике предикатов первого порядка, является одной из самых старых и самой математически строгой среди всех известных. В ее основе лежит формальная система, задаваемая четверкой вида: $M = \langle T, P, A, B \rangle$ [2, 4]. Множество T является множеством базовых элементов – алфавитом. Множество P – множество синтаксических правил – правил построения правильных формул (ППФ). С их помощью из элементов T образуют синтаксически правильные совокупности. В множестве синтаксически правильных совокупностей выделяют некоторое подмножество A . Элементы A называют аксиомами. Множество B является множеством правил вывода. Применяя их к элементам A можно получать новые синтаксически правильные совокупности, к которым снова можно применять правила из множества B . Так формируется множество выводимых в данной формальной системе совокупностей. Это показывает, что именно правило вывода является наиболее сложной составляющей формальной системы. Для знаний, входящих в базу знаний, можно считать, что множество A образуют все информационные единицы, которые введены в базу знаний извне, а с помощью правил вывода из них выводятся новые производные знания. Другими словами формальная система представляет собой генератор порождения новых знаний, образующих множество выводимых в данной системе знаний. Средства данной модели являются наиболее подходящим инструментом при описании предметной области, в которой будет происходить работа проектируемой экспертной системы. Предикатная форма описания отношений между сущностями предметной области отлично справляется с задачей формализации данного типа знаний. Механизм вывода в данной модели, основанный на методе резолюций, позволяет получать заключения, подтвержденные строгим математическим доказательством. На основании логической модели представления знаний построен язык программирования Пролог [3].

Однако при всех своих положительных качествах логическая модель представления знаний имеет один существенный недостаток, связанный с отсутствием необходимых средств для представления процедурных знаний в рамках данной модели. Как известно знания делятся на процедурные и декларативные. В логической модели набор предикатов является декларативными знаниями, а процедурные в виде механизма логического вывода – методе резолюций. Механизм логического вывода в конкретной модели представления знаний изменен быть не может. Поэтому логическая модель, хорошо описывая знания декларативные, является неэффективной для решения задачи представления процедурных знаний. В языке Пролог отсутствие необходимости программировать конкретную последовательность действий для решения задачи провозглашалось как основное преимущество перед процедурными языками. Однако, полная замена процедурного программирования декларативными определениями отношений между сущностями не всегда выгодна с точки зрения эффективности решаемой задачи и приводит к большим вычислительным затратам. К примеру, рассмотрим тривиальные арифметические операции, которые являются "родными" для компьютера. С точки зрения процедурного программирования нет ничего проще, чем описать функцию возведения в целую степень в виде подпрограммы.

```
S:=1;
for I:=1 to n do S:=S*k; (1)
```

Рассмотрим как ту же самую задачу приходится решать, используя декларативные средства

Пусть $\text{Stepen}(X, Y, Z)$ – отношение степени, где X – основание, Y – степень, Z – результат возведения X в степень Y .

Тогда

$\text{Stepen}(X, 0, 1)$ – факт

$\text{Stepen}(X, Y, Z) : \text{Stepen}(X, Y1, T), Z = T * X$ (2)

А этио примере приходится прибегать к использованию рекурсивного определения понятия степень. Очевидна неэффективность применения Пролога для таких задач с точки зрения эффективности выполнения программы. Рекурсивное решение данной задачи отнимет намного больше время, и объем памяти, а для больших чисел объем затрачиваемой стековой памяти при рекурсии может оказаться недопустимо большим. Гораздо естественней выглядела бы возможность представления решения задачи вычисления степени в виде функционала, также, как в Прологе реализованы операции сложения, умножения, деления и вычитания. Но в Прологе отсутствуют средства для описания функций пользователя в виде процедурных подпрограмм [3].

Рассматривая все сказанное выше можно сделать вывод о том, что логическая модель и Пролог, как практическая реализация данной модели, нуждаются в дополнении простыми средствами представления процедурных знаний. Необходимо встроить данные средства, оставляя всю математическую строгость получаемых логических выводов в рамки формальной системы. Решение данной проблемы предлагается ниже.

Наиболее простым средством для представления процедурных знаний в логической модели является расширение применения функторов и их смысловой нагрузки. Первым простейшим шагом может быть введение в Пролог возможность описывать пользовательские функции на каком-нибудь процедурном языке программирования и использовать их в предикатах наравне со стандартными арифметическими функциями. Применительно к нашему примеру последовательность (1) представляется в виде функтора $f(X, Y)$ и используется далее в предикатах, как терм для вычисления степени. Однако даже на применение стандартных функторов Пролог накладывает существенное ограничение на их использование. Напомним, что в процессе вывода при использовании стандартных функционалов необходимо, чтобы в момент вычисления значения функционала все его аргументы были известны, т. е. программа рассматривает его как константу, получающуюся после вычисления функционалов [3]. Это необходимо для правильной работы механизма унификации. Рассмотрим подробнее правила унификации предикатов, используемые Прологом во время логического вывода.

Унификация термов является одной из главных процедур при выполнении Пролог-программы в ходе которой переменные получают значения из Эрбрановского универсума [1, 2], после чего выполняется операция резолюции и появляется новый дизъюнкт. Если термы не унифицируемы, то процесс терпит неудачу. Если же термы унифицируемы, тогда процесс находит подстановку переменных, делающих эти термы тождественными, и завершается удачей. Рассмотрим правила унификации термов в Прологе.

1. Если S и T константы, то S и T сопоставимы (унифицируемы) только в том случае, если они являются одним и тем же объектом.

2. Если S переменная, а T произвольный объект, то ни сопоставимы и S приписывается значение T . Наоборот, если T переменная, а S произвольный объект, то T приписывается значение S . Говорят, что T конкретизируется значением S .

3. Если S и T – структуры, то они сопоставимы, если: а) S и T имеют одинаковый главный функтор, и б) все их соответствующие компоненты сопоставимы [1].

Результирующая конкретизация определяется сопоставлением компонент.

Исходя из пункта (3) термы $f+(3,5)$ и $f-(18,10)$ были бы неунифицируемы, если бы Пролог предварительно не вычислял эти значения, пользуясь семантикой функторов “+” и “-” и не заменял бы эти термы результатом вычисления – константой. В исчислении предикатов при удалении свободных переменных возникает необходимость применения функции Сколема [1], которая носит декларативный характер, так как просто устанавливает факт существования некоторой зависимости. Поэтому возникала необходимость при выводе пользоваться правилами унификации функторов, не используя их семантику.

Однако правило (3) существенно ограничивает возможности унификации функторов, семантика которых нам известна. Пусть $f(x)$ и $g(x)$ функции которые принимают значение, а при $x = b$. Тогда замена $x|b, f(x)|a, g(x)|a$ позволяет унифицировать термы $f(x), g(x)$. Пролог способен выполнить такие действия только в том случае, если к началу процесса унификации переменная x уже приобрела значение b в результате предыдущих вычислений и семантика $f(x), g(x)$ ему известна, т. е. они являются стандартными арифметическими функциями. Как было сказано выше, второе ограничение снимается, если разрешить описывать семантику функторов на процедурном языке и использовать в дальнейшем как стандартные функции, т. е. при необходимости унификации пользовательского функтора, аргументы которого известны, необходимо вычислить его значение и заменить на полученную в результате вычисления константу. Дальнейший процесс унификации выполняют по приведенным выше стандартным правилам. Если же аргумент к моменту вычисления не известен, то и в таком случае можно попытаться произвести унификацию пользуясь измененным правилом (3). В таком виде как есть оно должно использоваться только для тех функторов, семантика которых нам неизвестна (к примеру функции Сколема). Для функций, семантика которых нам известна предлагается другой алгоритм. Пусть $y = f(x)$ – функция, тогда при заданном x мы можем вычислить $y, g(x)$ – обратная ей функция, т. е. $g(f(x)) = x$. Тогда правило унификации функторов будет иметь следующий вид:

а) Если S константа, а T функция вида $f(x)$, то S и T сопоставимы, если существует такое значение $x = a = g(S)$ при котором $f(a) = S$. В результате унификации T меняется на S , а x принимает значение a , вычисленное на основании $a = g(S)$.

б) Если S функция $f_1(x)$, а T функция вида $f_2(x)$, то S и T сопоставимы, если существует решение уравнения $f_1(x) = f_2(x)$, т. е. существует $x = a$ при котором $f_1(a) = f_2(a)$.

Если к моменту решения переменная x еще не получила никакого значения, то поиск значения a вести в общем случае неэффективно. Поэтому решение данного вопроса можно перенести на более поздний момент вычислений, когда значение x определится в ходе дальнейших унификаций, считая что данные функторы унифицируемы. Тот факт, что вопрос унификации $f_1(x)$ и $f_2(x)$ не решен, можно заменив вхождение данных функторов условным символом унификации $V_1(f_1(x), f_2(x))$, и как только переменная x получит некоторое значение a , необходимо тут же выполнить проверку $f_1(a) = f_2(a)$. Если данное условие не выполняется, значит функторы не унифицируемы. Точно также мы можем поступить и в случае (а), если вид обратной функции $g(x)$ нам не известен. При этом условный символ унификации примет вид $V_1(S, f(x))$, а проверочное условие $f(x) = S$. Легко заметить, что при необходимости унификации двух символов $V_1(f_1(x), f_2(x))$ условной унификации $V_1(f_1(x), f_2(x))$ и $V_2(f_3(y), f_4(y))$ мы получим третий символ условной унификации по правилу $V_3(f_1(x), f_2(x), f_3(y), f_4(y))$ проверочным условием выполнения которого будет $f_1(x) = f_2(x) = f_3(y) = f_4(y)$.

Таким образом, вводя возможность использования в Прологе вычисляемых функционалов мы получаем следующие преимущества:

1. Естественный и простой способ представления процедурных знаний с сохранением всех преимуществ логической модели;
2. Ускорение процедуры логического вывода в следствие отбрасывания заведомо неправильных значений переменных;

3. Расширение области поиска возможных значений при решении задач, в результате расширения возможности унифицирования функционалов.

К недостаткам следует отнести значительно возросшую сложность механизма унификации, что требует значительных усилий при программировании. Однако, вследствие того, что данный механизм программируется лишь один раз при реализации механизма логического вывода, получаемые преимущества с лихвой компенсируют этот недостаток.

Список литературы: 1. Дюбко. Г.Ф. Введение в формальные системы. К.: УМК ВО, 1992. 171 с. 2. *Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию* / А. Тейз, П. Гриббомон, Ж. Луи и др. М.: Мир, 1990. 432 с. 3. *Ин Ц., Соломон Д. Использование ТурбоПролога.* М.: Мир, 1993. 608 с. 4. *Логическое программирование. Курс лекций* / Морозов М.Н. 1999. URL: http://www.marstu.mari.su/mmlab/home/prolog/study_1.html

Поступила в редколлегию 19.07.2000

УДК 519.7

Т. М. НЕОФИТНАЯ

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОНЯТИЙНЫХ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Человек, являясь неотъемлемой частью биосферы, находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой. Научно-технический прогресс, а также постоянное увеличение общей численности населения планеты, неуклонно влекут за собой расширение промышленного производства и энергетики. Негативное воздействие человека на окружающую среду непрерывно нарастает и оно в основном заключается в обусловленном его жизнедеятельностью антропогенном загрязнении биосферы, особенно сильно проявляющемся во время аварий и при других чрезвычайных ситуациях.

Защитные реакции окружающей среды не в состоянии своевременно нейтрализовать все последствия химических и энергетических выбросов и в результате последние приводят к нежелательным изменениям среды обитания. В то же время естественные процессы в природе часто оказывают большое негативное влияние на человечество, которое выражается в разнообразных стихийных бедствиях, таких как землетрясения, лавины, эпидемии, лесные пожары, наводнения и т. д.

Поэтому актуальной задачей является разработка системы экологической экспертизы состояния окружающей среды, предназначенной для проведения анализа текущего и прогнозирования будущего состояния окружающей среды с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, как антропогенного, так и природного характера, и оперативной ликвидации их последствий.

В настоящее время для решения таких задач привлекаются все доступные возможности вычислительной техники, т. к. без их помощи трудно себе представить обеспечение постоянного анализа безопасности и незамедлительной реакции на чрезвычайные ситуации, в том числе своевременную разработку стратегии действий по её ликвидации. Доказательством эффективности применения интеллектуальных программных систем для решения задач такого рода вместо традиционных процедурно-ориентированных систем, основанных на вычислительных алгоритмах, являются следующие особенности экологических проблем:

- необходимость оперирования не только числовыми данными, но и понятийными знаниями, которые выражаются только в символьной форме;
- отсутствие четкого алгоритма для решения такого рода проблем;
- не все знания определены строго, есть неточности и противоречия;
- использование не только теоретических, но и эмпирических знаний.

Известно, что основу любой интеллектуальной системы составляет база знаний, и успешность ее разработки влияет на гибкость и адаптивность системы, ее способность к решению различного рода интеллектуальных задач и тем самым определяет качество системы в целом [1]. Поэтому интеллектуальная система экологической экспертизы состояния окружающей среды должна иметь базу знаний (БЗ), в которой бы находились специальным образом организованные сведения о состоянии природной среды и антропогенных воздействиях. В связи с этим была поставлена задача – разработать систему поддержки базы знаний, отвечающую следующим требованиям:

- моделирование не только поверхностных, но и глубинных знаний;
- поддержка сложных иерархически организованных структур знаний;
- поддержка открытых баз знаний, в которых знания могут изменяться в процессе вывода.

Основой для построения базы знаний о проблемной области является концептуальная классификационная модель знаний. В концептуальной модели объекты (явления) реального мира, их свойства и связи между ними отображаются в виде понятий (концептов) и совокупности отношений на множестве понятий [2]. Это связано с тем, что “ни предметная область, ни терминосистема, не даны сознанию (интеллекту, абстрактному отражению, словесно-логическому мышлению) непосредственно, а только в виде соответствующих понятий, отражающих предметную область и выступающих в качестве содержания терминов” [3]. Поэтому необходимо, чтобы переход от концептуальной модели проблемной области к ее компьютерному представлению осуществлялся как можно более простым и естественным путем.

На этом пути важной задачей является выбор соответствующего формализма представления знаний. В работах по искусственному интеллекту накоплен широкий аппарат моделей и методов представления знаний. Для решения реальных и сложных задач в слабоформализованных предметных областях, к которым в том числе относится область экологии, необходимо использовать модели и методы когнитивного подхода к представлению знаний, который основывается на изучении особенностей естественного интеллекта и, в частности, понятийной системы человека [4]. В связи с этим предпочтение было отдано эвристическим моделям (семантические сети, фреймы и продукции), которые позволяют адекватно отразить семантику проблемной области, и обладают большой выразительной силой и эвристической мощностью. Однако каждая из этих моделей представления знаний имеет определенные достоинства и недостатки [5] и характеризуется своей эффективной областью применения [6].

Поэтому для реализации мощной системы, основанной на знаниях, целесообразно провести интеграцию всех перечисленных выше моделей представления знаний с целью использования преимуществ каждой модели и представления знаний различной природы. В связи с этим в данной системе используется смешанная модель, включающая фреймы, семантические сети и продукции. В этой модели для описания понятий и отношений между ними предлагается сеть фреймов, а для описания операционной семантики проблемной области задействованы продукции.

Выбор в качестве модели представления понятийных знаний сети фреймов обусловлен рядом причин. Во-первых, с помощью фреймовых структур данных могут быть эффективно представлены как абстрактные знания (понятия о классах объектов), так и конкретные знания (единичные понятия) [7, 4]. Во-вторых, в рамках фреймового формализма возможно описание различных типов отношений между понятиями с помощью введения специальных слотов связей [8, 9]. В-третьих, существует возможность явного определения родовидовых иерархий понятий [4, 6]. Благодаря этому становится возможной работа с большими объемами знаний, т. к. существенно облегчается поиск необходимых знаний. Таким образом, во фреймовой модели учитывается иерархичность, присущая человеческим знаниям. В-четвертых, отличительной особенностью фреймовых сетей является наличие механизма наследования свойств [4, 6], позволяющего устранить излишнюю избыточность информации, т. к. вся общая информация для некоторой совокупности фреймов хранится во фрейме-родителе, а в остальных фреймах указывается лишь ссылка на эту информацию. Кроме того, благодаря использованию механизма наследования свойств в процессе приобретения знаний упрощается ввод новых знаний в систему, т. к. для каждого нового понятия необходимо будет только указать его отличия от родового понятия.

В настоящее время существует много интерпретаций фреймового формализма представления знаний. Прежде всего, это обусловлено чрезмерной абстрактностью теории фреймов, предложенной Минским М. [10] и использованием фреймового формализма представления знаний для различных приложений (распознавание образов, построение экспертных

систем, понимание естественного языка). Поэтому в данной работе была проведена адаптация данного формализма с целью реализации средств поддержки базы понятий о проблемной области. Далее следует описание характерных особенностей фреймовой сети, разработанной для представления понятийных знаний в данной системе, и обосновываются ее основные отличия от распространенных систем фреймового типа.

В основу фреймовой сети положена иерархия фреймов, в которую фреймы соединяются с помощью родовидовых связей. В качестве идентификатора фрейму присваивается имя. Это имя должно быть единственным во всей фреймовой системе. Любой фрейм состоит из набора слотов – признаков описываемого им понятия. Слот – это структура, состоящая из имени слота, указателя атрибута (типа данных), указателя наследования и значения слота. Имя слота должно быть уникальным в рамках фреймов, компонентом которых является данный слот. Кроме того, значение слота должно совпадать с указанным типом данных для этого слота и должно выполняться условие наследования.

Каждый фрейм решено оснащать рядом стандартных слотов, которые будут зарезервированы системой для выполнения специальных функций и недоступны в явном виде для конечного пользователя. Среди них, с целью реализации фреймовых сетей, предлагаются следующие:

- PARENT – слот, указывающий фрейм-родитель;
- CHILDS – слот, указывающий дочерние фреймы;
- USEINSLOT – слот, указывающий на слот во фрейме, в котором указатель на текущий фрейм является значением слота.

В теории фреймов принято различать фреймы для описания абстрактных и конкретных знаний, их именуют прото-фреймами и экзо-фреймами соответственно [4]. Если воспользоваться языком формальной логики, прото-фрейм будет соответствовать понятию о некотором классе объектов предметной области, а экзо-фрейм – единичному понятию. Для облегчения поиска знаний во фреймовой сети целесообразно отдельно выделять фреймы-категории, содержащие наиболее общую информацию, истинную для всех остальных фреймов, порожденных от данного. Фрейм-категория всегда является вершиной иерархии фреймов и не имеет предков.

Таким образом, в системе используются следующие обозначения для различных типов фреймов:

- C (Category) – предлагается применять для обозначения фрейма, находящегося на самом верхнем уровне иерархии фреймов;
- P (Prototype) – используется для обозначения фреймов, имеющих как предков, так и потомков;
- E (Example) – используется для обозначения фреймов, не имеющих потомков (описывающих единичные понятия предметной области).

При определении фрейма-категории достаточно ввести имя фрейма и необходимую информацию о слотах. В предельном случае допускается существование вырожденного фрейма, т. е. фрейма который характеризуется только именем и не имеет никаких слотов, кроме системных. Все остальные фреймы наследуются от фреймов-категорий. Для их определения обязательно требуется указать имя фрейма-родителя и имя, присваиваемое данному фрейму. Фрейм-потомок автоматически наследует все слоты своего предка, а к ним уже могут быть добавлены слоты, специфичные для данного фрейма. Каждый фрейм в системе может иметь свои конкретные экземпляры. Экземпляр фрейма определяется только путем означивания его слотов, добавление новых слотов недопустимо.

На основе анализа экологической информации была выявлена необходимость в следующих типах данных:

- I (Integer) – целое число;

- R (Real) – действительное число;
- C (Char) – символ;
- B (Boolean) – логическое значение;
- T (Text) – текст;
- L (List) – список;
- D (Range) – диапазон;
- L (List of frames) – указатель на фрейм или группу фреймов.

Указатели I, R, C, B, T используются для обозначения простых и заранее определенных в системе типов данных Integer, Real, Char, Boolean и Text соответственно. Простые типы используются для конструирования сложных типов данных Range и List.

Введение типа данных Range позволяет использовать в качестве значения слота некоторый числовой диапазон. В этом случае значение слота задается приблизительно – в виде интервала возможных значений. Например, температура воздуха в данной местности не выходит за пределы $-35 - +40^{\circ}\text{C}$. При выборе типа Range необходимо указать, какой из простых числовых типов данных (Integer, Real, Char) используется. Таким образом, при определении диапазона значений слота, по существу, накладываются некоторые ограничения на область определения выбранного числового типа данных. При этом указывается верхняя и/или нижняя граница диапазона, и задаются ее свойства (открытая, замкнутая). Если были определены не все границы диапазона, то по умолчанию используется граница области определения выбранного простого типа данных.

Тип данных List – это список возможных значений из области определения некоторого простого типа данных. Список может быть задан аналитически – с помощью правила выборки значений из области определения простого числового типа данных или прямым перечислением всех элементов списка.

Интерпретация сложных типов данных Range и List происходит динамически, т. е. в ходе выполнения программы. Более того, для каждого слота возможно задание значений разных типов. Таким способом можно одновременно хранить субъективные и объективные данные для одной и той же характеристики фрейма. Например, субъективной оценкой температуры воздуха в данной местности может быть значение “жарко”, а объективной – “ 35°C ”

Тип данных List of frames занимает особое место в системе. С его помощью легко организовать отношения типа “часть-целое”, например, можно создать слот с именем “Состоит из” и присвоить ему в качестве значения несколько указателей на фреймы из других классификаций. В качестве указателя в системе используется имя фрейма. Вообще говоря, введение типа данных List of frames позволяет моделировать любые сложные сетевые структуры знаний. В этом случае имя слота необходимо рассматривать как название связи между фреймами. Преимуществом фреймовой сети является возможность хранить непосредственно в данном фрейме всю информацию о его связях с другими фреймами, благодаря чему значительно упрощается поиск релевантной информации о некотором фрейме, поскольку ведется просмотр не всей БЗ, а рассматриваются только фреймы, связанные с данным прямым или опосредованным путем.

Указатель наследования используется для задания режима наследования текущим слотом текущего фрейма значения соответствующего слота родительского фрейма [4, 6]. Обычно во фреймовых системах используется predetermined набор указателей наследования. Это позволило сформировать список стандартных указателей наследования, используемых в тех или иных фреймовых системах: U (Unique) – слот наследуется, но данные в каждом фрейме могут принимать любые значения; S (Same) – наследование тех же значений данных; R (Range) – ограничение диапазона значений данных; M (Member) – ограничение выбора из элементов, перечисленных во фрейме верхнего уровня; I (Independence) – без наследования, O (Override) – наследование тех же значений данных, если не введено собственное значение [4 – 6, 7 – 9].

Анализ показал, что введение такого количества указателей наследования является избыточным. Указатели S, O, I касаются степени выраженности наследования текущим слотом текущего фрейма значения соответствующего слота родительского фрейма. Указатели R и M показывают, как будет работать механизм наследования, если типом данных слота являются Range (диапазон) и List (список) соответственно. Так, для типа данных Range наследование может осуществляться только в пределах диапазона, указанного во фрейме-родителе, а для типа данных List наследоваться могут только элементы из списка значений слота родительского фрейма. Естественно, что для других типов данных указатели наследования R и M не работают. Поэтому в разрабатываемой системе используются только три указателя наследования: а) I – значение родительского слота не наследуется; б) O – значение наследуется только, если не введено собственное значение; в) S – значение в родительском фрейме наследуется всегда, а интерпретация наследования будет зависеть от типа данных указанного для слота. В случае простых типов данных (I, R, B, C, T) она очевидна и перечисленные выше три типа наследования не нуждаются в уточнении. Для типов данных Range и List наследование осуществляется так, как описано выше.

Необходимо описать механизм наследования, когда типом данных является List of frames, т. е. в качестве значения слота используются указатели на группу фреймов, являющихся элементами другой родовидовой классификации. Для простоты рассмотрим случай, когда значением слота является указатель на один фрейм. Тогда при наследовании этому слоту могут быть присвоены только ссылки на те фреймы, которые находятся в одной иерархии с данным и при этом они должны быть порожденными от него. Для примера рассмотрим схему, изображенную на рисунке. Из этой схемы видно, что местоположением промышленной печи является цех, разновидностями промышленных печей являются вагранки, мес-

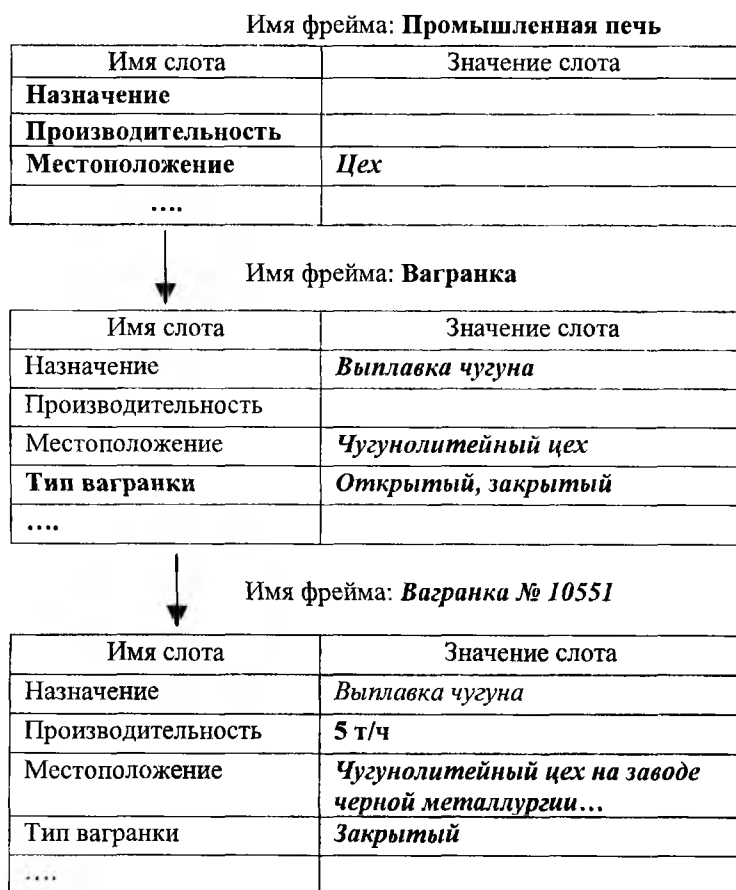


Рис. Фрагмент фреймовой сети.

тоположением вагранки обычно является цех определенного типа, а именно чугунолитейный цех. При определении значения слота “Местоположение” фрейма “Вагранка” (в случае указателя наследования S) будет производиться контроль ввода, ограничивающий выбор значений только именами фреймов-потомков фрейма “Цех”. Аналогично осуществляется наследование, когда значение слота – это целый список указателей на фреймы, только в этом случае переопределение значения производится для каждого фрейма отдельно.

Предложенный механизм интерпретации наследования для типа данных List of frames естественно называть родовидовым наследованием значений слотов фрейма. Он позволяет устранить избыточность информации и проводить контроль ввода знаний, когда в качестве значения слота используется имя фрейма, являющегося вершиной другой родовидовой иерархии фреймов. Следует отметить, что такой вид наследования по имеющимся данным еще не используется в существующих интеллектуальных системах, основанных на фреймовом формализме.

Таким образом, в статье с учетом особенностей когнитивных структур мышления человека обоснован выбор фреймовой сети в качестве модели представления понятийных знаний. Проведена адаптация фреймового формализма представления знаний и описаны характерные особенности предложенной модели, касающиеся типов фреймов, типов данных для значений слота, указателей наследования и механизма наследования. Предложенная модель использовалась при реализации программных средств поддержки БЗ в интеллектуальной системе экологической экспертизы состояния окружающей среды.

Список литературы: 1. *Гаврилова Т. А., Червинская К. Р.* Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М.: Радио и связь, 1992. 200 с. 2. *Полищук Ю.М., Хон В.Б.* Теория автоматизированных банков информации. М.: Высш. шк., 1989. 184 с. 3. *Соловьева Е. А.* Естественная классификация. Харьков: ХТУРЭ, 1999. 222 с. 4. *Представление и использование знаний: Пер. с япон. / Под ред. Уэно Х., Исидзука М. М.: Мир, 1989. 220 с.* 5. *Георгиев В. О.* Модели представления знаний предметных областей диалоговых систем (обзор) // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1993. N 5. С. 24-44. 6. *Диалоговые системы представления знаний / Кокорева Л. В. и др. К.: Наук. думка, 1992. 448 с.* 7. *Барсуков А.В., Гаврилов А.В., Олейник Е.В.* Представление знаний в системе распределенных баз знаний и данных в INTERNET / INTRANET // Труды международной научно-технической конференции “Научные основы высоких технологий”. Новосибирск: 1997. Т. 2. С. 212-217. 8. *Андриенко Г.Л., Андриенко В.Л.* Построение информационно-аналитических MULTIMEDIA-систем, основанных на знаниях // Теория и системы управления. 1995. № 5. С. 160-172. 9. *Искусственный интеллект: Справочник.* В 3-х кн. Кн. 2: Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с. 10. *Минский М.* Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. М.: Энергия, 1979. 152 с.

Поступила в редколлегию 5.08.2000

УДК 681.5

А. Д. ПОЛОНСКИЙ

ОБ ИНВАРИАНТНОЙ АЛГЕБРЕ РАНГОВЫХ ПРЕДИКАТОВ

Для математического описания и электрического синтеза нейроподобных структур построена инвариантная алгебра ранговых предикатов, которая является более универсальной, чем булева алгебра и многозначная логика. В рамках теории инвариантной алгебры ранговых предикатов построены модели нейроподобных структур с кодированием адреса канала рангом, адекватные детекторной теории нейрокибернетики. Предложен метод электрического синтеза нейроподобных структур в элементном базисе инвариантной алгебры ранговых предикатов.

Введение

Одной из проблем нейробионики является разработка адекватного алгебро-логического аппарата для моделирования и синтеза нейронных сетей (НС). От решения этой проблемы в значительной степени зависит эффективность нейробионического подхода к развитию нейроподобных структур (НПС) для параллельной обработки информации.

Вначале для решения этой проблемы использовалась булева алгебра (БА) и моделирование нейронов логическими элементами [1]. Накопление данных о функционировании НС показало ограниченность таких представлений, так как эти данные проявлялись как в детерминированных, так и случайных свойствах [2, 3].

Для моделирования и синтеза НС использовалась многозначная логика (МЛ) [4, 5]. Использование МЛ несколько видоизменяет сущность логической операции. Под дизъюнкцией (конъюнкцией) в МЛ понимается функция выделения наибольшей (наименьшей) переменной из двух сравниваемых, т. е.

$$\max[u(1); u(2)] = 0,5[u(1) + u(2) + Su(1) - u(2)S]; \quad (1a)$$

$$\min[u(1); u(2)] = 0,5[u(1) + u(2) - Su(1) - u(2)S], \quad (1б)$$

где $u(i) \in U (i = 1, 2)$. Здесь и далее $U = \{u(1), \dots, u(n)\}$ – множество случайных переменных (МСП) $u(i) \in [U_{\min}; U_{\max}]$, $i = \overline{1, n}$, $U_{\min} \geq 0$; $U_{\max} \gg U_{\min}$.

В качестве основных недостатков МЛ можно отметить следующие. Во-первых, электрические модели НС на основе МЛ выделяют сигнал, соответствующий выбранной функции, но не указывают источника этого сигнала, а последнее весьма важно для последующих этапов распознавания. Во-вторых, возможности МЛ ограничены кругом задач, описываемых лишь отображениями элементов МСП только на самих себя.

В настоящей работе для математического описания и электрического синтеза НС разработан алгебро-логический аппарат – инвариантная алгебра ранговых предикатов (ИАРП). В первом разделе изложена прикладная теория ИАРП, во втором – предложен теоретико-множественный подход к построению моделей НПС с кодированием адресов каналов рангом. Приведен метод электрического синтеза НПС в элементном базисе ИАРП.

Прикладная теория ИАРП

В основу теории ИАРП положим один из элементов линейной алгебры – скалярное произведение векторов (СПВ). Предположим, что имеется вектор предметных переменных $y = (y(1), \dots, y(n))$ и вектор весовых коэффициентов $a = (a(1), \dots, a(n))$. Тогда СПВ можно представить в виде функционального преобразования:

$$F_a(y) = \sum_{i=1}^n a(i)y(i), \quad (2)$$

где $F_a(y)$ – символ функции СПВ.

Для множества функциональных преобразований вида (2) справедливы следующие свойства:

замкнутость относительно операций суперпозиции

$$\lambda F_a(y) = F_a(\lambda y(1), \dots, \lambda y(n)) = F_{(\lambda a(1), \dots, \lambda a(n))}(y), \lambda > 0; \quad (3a)$$

дистрибутивность

$$\lambda F_a(Y_1 + Y_2) = F_a(\lambda Y_1) + V_a(\lambda Y_2), \quad (36)$$

где $Y_1 + Y_2 = (y_1(1) + y_2(1), \dots, y_1(n) + y_2(n))$, $1 > 0$;

коммутативность

$$F_a(y) = F_y(a). \quad (3в)$$

Отметим, что свойства (3) остаются в силе и в случае выполнения следующих ограничений:

$$\sum_{i=1}^n a(i) = 1; \quad a(i) \in \{0; 1\}, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Покажем, что ограничениям (4) удовлетворяют весовые коэффициенты, порождаемые рангами элементов МСП.

Определение 1. Рангом i -го элемента МСП называется его порядковый номер $r(i)$ в вариационном ряду $\{u^{(1)} < u^{(2)} < \dots < u^{(r)} < \dots < u^{(n)}\}$, где $u^{(r)}$ – r -й по величине элемент МСП.

Формально процедуру вычисления ранга можно представить в виде

$$r(i) = \sum_{j=1}^n S(ij). \quad (5)$$

где $S(ij) = \text{sgn}[u(i) - u(j)] = \begin{cases} 0 & [u(i) < u(j)]; \\ 1 & [u(i) \geq u(j)]. \end{cases}$ – двоичный предикат. (6)

Множество рангов $\{r(1), \dots, r(n)\}$ образует некоторую перестановку целых чисел от 1 до n . Ранги обладают свойством инвариантности: все перестановки чисел от 1 до n равновероятны независимо от вида распределения элементов МСП. При $n = 2$ множество рангов вида (5) содержит два элемента $r(1) = 1 + \text{sgn}[u(1) - u(2)]$; $r(2) = 1 + \text{sgn}[u(2) - u(1)]$. (7)

Выразим весовые коэффициенты через ранги с помощью функциональных преобразований (7) следующим образом:

$$a(1) = r(1) - 1 = \text{sgn}[u(1) - u(2)]; \quad a(2) = r(2) - 1 = \text{sgn}[u(2) - u(1)]. \quad (8)$$

Подстановка (8) в (2) приводит к инвариантному преобразованию вида

$$F_{\text{sgn}}(y) = y(1) \text{sgn}[u(1) - u(2)] + y(2) \text{sgn}[u(2) - u(1)]. \quad (9)$$

Расширение класса инвариантных преобразований осуществляется путем использования операций суперпозиции, что иллюстрирует следующий пример.

Представим инвариантное преобразование в виде

$$F_{\text{sgn}}(y) = S(12)y(11) + \bar{S}(12)y(12), \quad (10a)$$

где $S(12) = \text{sgn}[u(1) - u(2)]$; $\bar{S}(12) = 1 - S(12) = \text{sgn}[u(2) - u(1)]$.

Предположим, что в (10a)

$$y(11) = S(23)y(1) + \bar{S}(23)y(2); \quad y(12) = S(34)y(3) + \bar{S}(34)y(4). \quad (10b)$$

Подставляя (10b) в преобразование (10a), получим инвариантное преобразование вида

$$(2), \text{ где } a(1) = S(12)S(23); \quad a(2) = S(12)\bar{S}(23); \quad a(3) = \bar{S}(12)S(34); \quad a(4) = \bar{S}(12)\bar{S}(34); \quad (11)$$

$$a(1) + a(2) + a(3) + a(4) = 1.$$

Из этого следует то, что каждая конечная последовательность суперпозиционных подстановок на последнем n -м шаге порождает базовую систему весовых коэффициентов $A = \{a(1), \dots, a(n)\}$, где каждый $a(i)$ является минтермом нескольких предикатов (6).

Определение 2. *Весовые коэффициенты, заданные на множестве рангов со значениями в двухэлементном множестве $\{0; 1\}$, называются ранговыми предикатами.*

Определение 3. *Случайные переменные, на множестве которых определяются ранговые предикаты, называются предикатными переменными.*

Двухэлементное множество инвариантных преобразований вида (9) содержит предикатные дизъюнкцию

$$V(y(1); y(2)) = Z_1 + Z_2 \quad (11a)$$

и конъюнкцию

$$\Lambda(y(1); y(2)) = Z_3 + Z_4, \quad (11b)$$

где $Z_1 = y(1) \text{sgn}[u(1) - u(2)]; \quad Z_2 = y(2) \text{sgn}[u(2) - u(1)]; \quad (12 \text{ a - r})$
 $Z_3 = y(1) \text{sgn}[u(2) - u(1)]; \quad Z_4 = y(2) \text{sgn}[u(1) - u(2)]$

Для предикатных функций (11) характерны свойства де Моргана

$$\overline{\vee(y(1); y(2))} = \wedge(\bar{y}(2); \bar{y}(1)); \quad \overline{\wedge(y(1); y(2))} = \vee(\bar{y}(2); \bar{y}(1)),$$

где $\forall i = \bar{1}, \bar{n} \quad \bar{y}(i) = 2Y_0 - y(i)$ (13) – диаметральная инверсия относительно центра;

$Y_0 = 0,5(Y_{\min} + Y_{\max})$ области определения предметных переменных $y(i)$, заданной интервалом $[Y_{\min}; Y_{\max}]$ на числовой оси.

Определение 4. *Множество всех инвариантных преобразований, порождаемых операциями суперпозиции, совместно с операциями диаметальной инверсии, предикатными дизъюнкцией и конъюнкцией образуют ИАРП.*

Законы и свойства ИАРП

Для ИАРП остаются в силе свойства (3), но при этом дополнительно имеют место: идемпотентные законы

$$\nabla(y, \dots, y) = y, \quad (14a)$$

где ∇ – либо \vee , либо \wedge ;

распределительные законы относительно операций сложения (вычитания)

$$y \pm \nabla(y(1), \dots, y(n)) = \nabla(y \pm y(1), \dots, y + y(n)); \tag{14б}$$

законы отрицания

$$\overline{\nabla(y(1), \dots, y(n))} = \Delta(\overline{y(1)}, \dots, \overline{y(n)}), \tag{14в}$$

где Δ – либо \vee , либо \wedge ;

сочетательные законы

$$\nabla[y(1); \nabla(y(2); y(3))] = \nabla(y(1); y(3)); \tag{14г}$$

законы поглощения

$$\nabla[y(1); \nabla(y(1); y(2))] = y(1) \tag{14д}$$

При отождествлении в (12) предметных и предикатных переменных (при $y(1) = u(1); y(2) = u(2)$) функции ИАРП (11) трансформируются в функции МЛ (1):

$\vee(u(1); u(2)) = \max[u(1); u(2)]; \wedge(u(1); u(2)) = \min[u(1); u(2)]$. В функциях МЛ (1) предикатные и предметные переменные совпадают. Но не смотря на это законы ИАРП (14) остаются в силе и для МЛ при прямой замене операций \vee и \wedge на \max и \min . Поэтому ИАРП можно рассматривать в качестве порождающей для МЛ.

При $y(i) = u(i) \in \{0; 1\} (i = 1, 2)$ диаметральная инверсия (13) вырождается в операцию логического отрицания: $\overline{u(i)} = 1 - u(i)$, а предикатные дизъюнкция (11а) и конъюнкция (11б) трансформируются в булевы дизъюнкцию

$$V(u(1); u(2)) = u(1) \vee u(2) \tag{15а}$$

и конъюнкцию

$$\Lambda(y(1); y(2)) = u(1) \wedge u(2), \tag{15б}$$

Отсюда следует причинно-следственная взаимосвязь между функциями БА: функции (15) связаны между собой операцией перестановки предметных переменных в предикатных функциях ИАРП (11).

Элементный базис ИАРП

Для электрического синтеза функций ИАРП используется алгебро-логический элемент – рангер. Схема рангера содержит (рис.) многозарядный цифровой компаратор СС, который управляет состоянием группы многозарядных каналов шинного формирователя ВД согласно таблицы истинности (табл.).

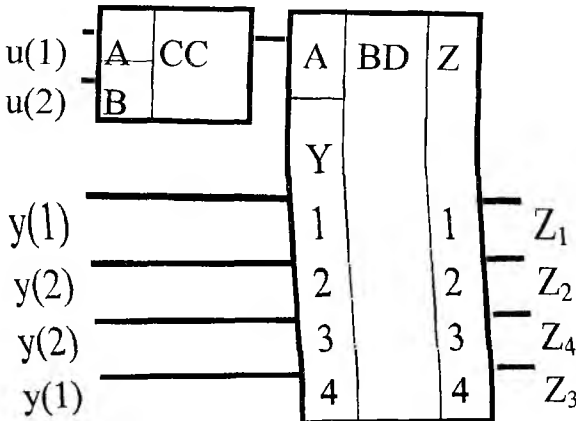


Рис. Схема рангера

Таблица

$u(1), u(2)$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
$u(1) \geq u(2)$	$y(1)$	\times	\times	$y(2)$
$u(1) < u(2)$	\times	$y(2)$	$y(1)$	\times

Примечание: \times – состояние высокого выходного сопротивления канала рангера.

Из таблицы истинности видно, что рангер адекватно воспроизводит операции (12).

Модели НПС с кодированием адресов каналов рангом

В рамках теории ИАРП модели НПС с кодированием адресов каналов рангом представляем в теоретико-множественной форме

$$z(i) = y(i); z(j) = 0 \mid U \in R_i; i \neq j, \quad (16)$$

где $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$. Здесь $z(i)$ – n -местная (n -арная) функция, заданная на множестве предикатных переменных $U = \{u(1), \dots, u(n)\}$ (возбуждающих воздействий) со значениями в двухэлементном множестве $\{0; y(i) \in Y\}$; $Y = \{y(1), \dots, y(m)\}$ – множество предметных переменных;

$$R_i = (u(i_1) < u(i_2) < \dots < u(i_n)) \in U^n \quad (17)$$

– заданное на множестве U отношение, для которого

$$z(i) = y(i); z(1) = \dots = z(i-1) = z(i+1) = \dots = z(m) = 0; \quad (18)$$

i_1, \dots, i_n – i -я перестановка целых чисел $1, 2, \dots, n$; U^n – n -я декартова степень множества U .

Функции (16) при $R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_m = U^n$ описывают класс операций выбора одной $y(i)$ из m переменных $y(1), \dots, y(m)$ по признаку, заданному отношением $R_i \in \{R_1, \dots, R_m\}$.

Отметим, что $\forall i = \overline{1, m}$

$$z(i) = a(i)y(i) \quad (19)$$

есть выходные сигналы НПС; $a(i)$ – ранговые предикаты, удовлетворяющие ограничениям $a(1) + \dots + a(m) = 1; a(i) \in \{0; 1\}, i = \overline{1, m}$.

Если выполняются условия (18), то ранговые предикаты в выражении (19) принимают значения

$$a(1) = \dots = a(i-1) = 0; a(i) = 1; a(i+1) = \dots = a(m) = 0. \quad (20)$$

Последовательность (20) представляет собой унитарный код ранга того канала, через который транслируется предметная переменная на выход НПС. При этом реализуется основной в теории нейрокибернетики принцип пространственного кодирования параметра (возбуждающего воздействия) номером канала (местом возникновения возбуждения на множестве нервных клеток) [6]. Напомним, что детекторная теория нейрокибернетики является в настоящее время доминирующей в нейронауке [7].

Метод электрического синтеза НПС

При заданной исходной функции (16) процедура электрического синтеза НПС сводится к построению математической модели ранговых предикатов в (19) и заключается в следующем. Для i -го отношения (17) выписываются все $0,5(n+1)n$ бинарных отношений порядка

$$u(i_1) < u(i_2), \dots, u(i_{n-2}) < u(i_{n-1}), u(i_{n-1}) < u(i_n).$$

Каждому неравенству $u(i) < u(j)$ ставят в соответствие предикат (6), произведение которых определяет i -й ранговый предикат

$$a(i) = \prod_{p=1}^{n-1} \prod_{q=p+1}^n \tilde{S}(pq),$$

где $\tilde{S}(pq) = S(pq) = \text{sgn}[u(p) - u(q)]$ или $\bar{S}(pq) = 1 - S(pq)$.

По математической модели (19) строят ее топологическую модель (электрическую схему), поскольку в ИАРП, как и в БА, между этими моделями существует прямая однозначная связь, а синтез осуществляется в элементном базисе (рангерах), адекватном операциям (12).

Заключение

Полученные теоретические результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Математический аппарат ИАРП полностью адекватен детекторной теории нейрокибернетики, так как предметом его изучения являются логические свойства математических объектов, с помощью которых моделируют НС.

2. В отличие от БА и МЛ предложенная ИАРП базируется на двух множествах – множествах предметных Y и предикатных U переменных, элементы которых являются соответственно носителями информации о структуре соединений и структуре управления в НПС, что полностью согласуется с коннекционистским подходом [3] к моделированию НС. Указанное свойство существенно расширяет функциональные возможности аналитического подхода к моделированию НС.

3. Ввиду неполноты аксиоматики ИАРП является открытой для других нейросетевых парадигм. Следовательно, ИАРП не противоречит принципу неоконченных решений, обеспечивающему свободу выбора последующих этапов распознавания [8, 9].

Литература: 1. Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. 360 с. 2. Крюков Б. И., Макаров П. О. О проблеме двойной сигнализации в вопросах моделирования нервной деятельности. Л.: Энергия, 1963. 59 с. 3. Галушкин А. И., Кирсанов Э. Ю. Нейронные системы памяти. М.: Наука, 1991. 179 с. 4. Коуэн Дж. Многозначная логика и нейронные сети. М.: Мир, 1966. 137 с. 5. Мюллер П. Общие принципы операций в нейронных сетях. М.: Мир, 1965. 290 с. 6. Позин Н. В. Моделирование нейронных структур. М.: Наука, 1970. 264 с. 7. Соколов Е. Н., Вайткявичус Г. Г. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. М.: Наука, 1989. 238 с. 8. Перцептрон – система распознавания образов / Под ред. А. Г. Ивахненко. К.: Наукова думка, 1975. 432 с. 9. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Под ред. Н. А. Амосова. К.: Наукова думка, 1991. 272 с.

Поступила в редколлегию 18.09.2000

УДК 681.3.06

С. А. КОВАЛЕВ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПАРАДИГМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Изложим свою точку зрения на так называемую объектно-ориентированную парадигму программирования (ООПар). Предмет исследования рассмотрим более широко по сравнению с устоявшимся термином "объектно-ориентированное программирование" (ООП), сместив акцент с этапов реализации классов и сборки программной системы на этапы анализа и проектирования. Использование термина "парадигма" подчеркивает комплексность подхода к разработке программных систем. Например, Тимоти Бадд [1] говорит об "объектно-ориентированном мышлении". Большинство разработчиков утверждают об особом процессе разработки объектно-ориентированных программ, о специфическом объектном менеджменте. Некоммерческая организация Object Management Group (OMG) [2] была основана в апреле 1989 г. одиннадцатью ведущими компаниями рынка информационных технологий. Целью группы является создание и развитие рынка компонентного программного обеспечения посредством ускорения стандартизации объектного программного обеспечения. Наиболее известными разработками OMG являются Common Object Request Broker Architecture (CORBA) [3] – стандарт де-факто распределенных вычислений, обеспечивающий гибкую возможность взаимодействия и интеграции разнородных приложений, – также широко известен Unified Modeling Language (UML) [4, 5, 6], попытка стандартизации языка и графической нотации при объектно-ориентированном (ОО) анализе и последующем проектировании.

Широкое применение термина "парадигма" вызвано публикацией Томасом Куном "Структуры научных революций" [7]. Кун использовал это слово для описания набора стандартов, теорий и методов, которые совместно представляют собой способ организации научного знания – способ видения мира. Основное положение Куна состоит в том, что революции в науке происходят, когда старая парадигма пересматривается, отвергается и заменяется новой.

По отношению к программированию "парадигмы" применены в 1979 г. Робертом Флордом. Т. Бадд [1] определяет программные парадигмы как "способ концептуализации, который определяет, как проводить вычисления и как работа, выполняемая компьютером, должна быть структурирована и организована". В настоящее время выделяют такие парадигмы, как директивная или процедурная (выражается в таких языках программирования, как Pascal, C), логическая (Prolog), функциональная (Lisp, FP, Haskell) и, естественно, последняя (в смысле новейшая, хотя апологеты данного подхода утверждают, что окончательная [8]) объектно-ориентированная. ООПар стремительно развивается, показателем может служить наличие более 170 объектно-ориентированных языков [9], разработанных за сравнительно короткое время.

Естественно, целью использования любой парадигмы программирования является разработка программ. Для ООПар концерн OMG определяет термин "объектный менеджмент" (object management) как разработку программного обеспечения, в ходе которой реальный мир моделируется посредством представления "объектов". Эти объекты включают в себя атрибуты, связи и методы идентифицируемых программных компонент. Результатом использования объектного менеджмента является более быстрая разработка программ, более легкая их поддержка и сопровождение, а также просто громадная масштабируемость и возможность повторного использования.

Итак, разрабатывая программное обеспечение (ПО), жизненный цикл программ чаще всего разбивается на три части: анализ, проектирование и программирование. В рамках ООПар используется объектно-ориентированный анализ (ООА – objectoriented analysis),

объектно-ориентированное проектирование (OOD – objectoriented design) и объектно-ориентированное программирование (OOP – objectoriented programming). Вот как Г. Буч, один из ведущих исследователей, занимающийся проблемами ООПар, определяет эти понятия. ООА – "методология, при которой требования к системе воспринимаются с точки зрения классов и объектов, выявленных в предметной области" [10, с. 54]. OOD – "методология проектирования, соединяющая в себе процесс объектной декомпозиции и приемы представления логической и физической, а также статической и динамической модели проектируемой системы" [10, с. 53]. OOP – "методология программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определенного класса, а классы образуют иерархию наследования" [10, с. 52]. Следовательно, на результатах ООА формируются модели, на которых основывается OOD; OOD в свою очередь, создает фундамент для окончательной реализации системы с использованием методологии OOP.

Для каждой парадигмы программирования характерны свое умонастроение, свой способ восприятия решаемой задачи. Так, писать программы в ОО стиле можно практически на любом языке программирования, но удобнее это делать на специально приспособленных, поддерживающих и поощряющих такой стиль разработки, ОО языках. Аналогично, используя только ОО язык, не принимая во внимание его концепции, мы не только потеряем их потенциал, скорее всего результат смеси ОО языка и, например, алгоритмической декомпозиции, будет даже хуже, чем при использовании просто алгоритмической парадигмы. Основой ООПар, ее концептуальной базой является объектная модель. Она имеет четыре неотъемлемых элемента (без них модель не будет объектной): абстрагирование, инкапсуляция, модульность, иерархия. Также полезны (но не обязательны) – типизация, параллелизм, сохраняемость.

Практический успех ОО технологии зависит от используемой методологии – интегрального, сформулированного в виде эмпирических методов, методик и приемов, подхода к основным фазам процесса разработки (ООА, OOD, OOP). В конце 80х – начале 90х наблюдался бум в создании новых методологий, которые разрабатывались, как правило, независимо друг от друга и практически без учета опыта. Создано около 50 ОО методов. Среди первых методологий можно выделить следующие (наряду с собственными названиями, в практике используются имена их создателей): Booch'91, OMT (Object Modelling Technique – автор James Rumbaugh), Object-Oriented System Analysis and Recursive Design (Shlaer/Mellor – Меллор разработал свой ОО язык – Eiffel), CRC (Class, Responsibility and Collaborations), Responsibility-Driven Design (разработчики одного из ОО языков Smalltalk – WirfsBrock, Beck/Cunningham), Object-Oriented Analysis and Design (Coad/Yourdon) и мн. др. Интенсивный обмен идеями во многочисленных публикациях, накопление опыта реальных разработок привели к появлению методологий второго поколения. Например, Booch'93 полностью вытеснил свой ранний вариант Booch'91, а методология Fusion использует CRC, Booch и OMT.

Только в первые несколько лет девяностых годов бурно расцвели около пятидесяти различных ОО методов. Настолько широкое распространение является показателем жизнеспособности ОО технологии, но и также является плодом множества интерпретаций (взглядов) понятия объект. Отрицательной стороной данного изобилия методологий явилось поощрение беспорядка (путаницы), вынудившей пользователей занять позицию "подождем и посмотрим", что негативно отражается на развитии методов. Наилучший путь протестировать что-то – это использовать его, так как методы не застывают в камень – они развиваются в ответ на комментарии пользователей. К счастью, более пристальное рассмотрение доминирующих методов позволяет выявить единодушные относительно основных общих идей. Основные характеристики объектов, разделяемые многими методами, выражаются концепциями класса, ассоциации (описанной Джеймсом Рамбо), деления на подсистемы (Гради Буч)

и выражением требований, основанном на изучении взаимодействия между пользователями и системой (варианты использования Ивари Якобсона). В итоге, хорошо проработанные методы, такие, как Booch и OMT, были подкреплены опытом практических разработок и вобрали в себя наиболее высоко оцененные методологические элементы.

Второе поколение методов Booch и OMT, известные как Booch'93 и OMT-2, было более похоже друг на друга, чем их предшественники. Оставшиеся различия были незначительны и касались в основном терминологии и нотации. Booch'93 под влиянием OMT вобрал в себя ассоциации, диаграммы Харела (Harel) и отслеживание событий. В свою очередь OMT-2 под влиянием метода Booch ввел в свой технический арсенал потоки сообщений, иерархические модели и подсистемы, а также модельные компоненты. Однако более важным изменением было удаление диаграмм потоков данных из функциональной модели. Эти диаграммы были унаследованным из функциональной (алгоритмической) парадигмы программирования багажом и не сочетались с общим подходом OMT.

На этой стадии оба метода предлагали полное покрытие всего жизненного цикла программы, но расставляли разные акценты на этапы и методики. Booch'93 фокусировался на этапе реализации, а OMT-2 концентрировался на абстракциях и анализе. Тем не менее серьезных несовместимостей между этими двумя методами не было.

История ОО концепций часто очень сложна и запутана (что лишний раз подтверждает отсутствие четкой и всеобъемлющей теории). Эмпирические элементы разнообразных методологий имеют значительное влияние на эффективность и направление усилий по унификации методов (табл. 1).

Таблица 1

Элементы методологий

Происхождение	Элемент
Booch	Категории и подсистемы
Embley	Классы-синглетоны и композитные объекты
Fusion	Описание операций, нумерация сообщений
Gamma et al	Каркасы (frameworks), образцы (patterns) и примечания
Harel	Диаграмма состояний
Jacobson	Варианты использования (Use cases)
Meyer	Пред- и пост- условия
Odell	Динамическая классификация, акцент на события
OMT	Ассоциации
Shlaer-Mellor	Жизненный цикл объектов
Wirfs-Brock	Ответственности и сотрудничество (collaborations)

Непрерывное развитие всех методологий, проблемы в их поддержке со стороны CASE-средств привели к назревшей необходимости унификации методологий или хотя бы нотаций и терминов. Как показано ранее, непреодолимых препятствий к объединению и унификации у отцов-основателей не было. Не без усилий OMG под крышей компании Rational Software разрабатывается Unified Modeling Language (Унифицированный Язык Моделирования), также осуществляется унификация методов. В 1994 г. Джим Рамбо (OMT – 40 % американского рынка на 1994 г.) покинул General Electric и присоединился к Гради Бучу в Rational Software (Booch'93 – 11%). В конце 1995 г. к ним присоединился еще один известный методолог Ивар Якобсон (Ivar Jacobson), автор OOSE (ObjectOriented Software Engineering). Это методология (более известная под названием Objectory) особо подходит для проектирования больших систем, в частности телекоммуникационных (сказывается опыт рабо-

ты Jakobson с телефонными системами фирмы Ericsson). Объединными усилиями "троих друзей" постоянно выпускаются новые версии UML и проводится разработка унифицированного метода (выпуск книги с описанием которого анонсирован на конец 2000 г.).

Несмотря на разнообразие методологий, все же присутствуют общие идеи, понятия, хотя и с разнобояем в терминах. Вкратце опишем ключевые концепции ООПар. Термины, выбранные нами для использования, будем выделять курсивом.

Действие в ОО программах инициируется посредством передачи *сообщений* агенту (объекту), ответственному за действие. Сообщение содержит запрос на осуществление действия и сопровождается дополнительной информацией (аргументами), необходимой для его выполнения. Получатель сообщения, если он принимает его (несет *ответственность* за выполнение этого действия), запускает некоторый *метод* (процедуру, функцию) для удовлетворения принятого запроса. Маскировка информации (*инкапсуляция*) заключается в том, что посылающему запросу клиенту не требуется знать о фактических средствах, с помощью которых его запрос будет удовлетворен. Различие между вызовом процедуры и пересылкой сообщения состоит в том, что в последнем случае существует определенный получатель и интерпретация (т. е. выбор подходящего метода, который запускается в ответ на сообщение) может быть различной. В ОО языках это реализуется механизмом *позднего связывания* между сообщением (именем метода) и фрагментом кода, это происходит во время выполнения программы (а не компиляции). Такое связывание противопоставляется *раннему*, осуществляемому при традиционных вызовах процедур. *Ответственность* (или обязанность) выражается также в свободе выбора способа, которым получатель сообщения обеспечивает желаемый результат, заказанный в запросе. Полный набор обязанностей, связанных с определенным объектом, называется *протоколом*. Все объекты являются представителями (или экземплярами) *классов*. Все объекты одного класса используют одни и те же методы в ответ на одинаковые сообщения. Принцип, в соответствии с которым знание о более общей категории (классе) разрешается использовать для более узкой категории, называется *наследованием*. Классы организуются в иерархическую структуру с наследованием свойств. Дочерний класс (*подкласс*) наследует атрибуты родительского класса (*надкласса*), расположенного выше в дереве (или графе для множественного наследования). *Абстрактный класс* – класс, не имеющий экземпляров, – используется только для порождения подклассов. Информация, содержащаяся в подклассе, может переопределять (*перекрывать*) информацию, наследуемую из родительского класса.

Вот как определяет основные термины и концепции один из ведущих ученых [11, 12] – Эдвард Берард. *Объекты* – это материальные и концептуальные предметы, которые мы можем найти в окружающем универсуме. *Состояние* (state) объекта понимается как условие, состояние, режим, ситуация (condition) объекта и набор ограничений, описывающих объект. Для сложных объектов полное описание состояния может быть очень сложным. Когда мы используем объекты для моделирования реальных или представляемых ситуаций, мы, типично, ограничиваем возможные состояния объекта только теми, которые существенны (важны) для нашей модели. Состояние большинства объектов не изменяется до тех пор, пока что-либо снаружи объекта не потребует сменить состояние. Такие объекты называются *пассивными*. *Активными* объектами (деятелями, актерами) называются объекты, способные спонтанно изменять свое состояние. Берард различает три точки зрения на понятие класса. В первой, "класс как резак для печенья", класс трактуется как образец, шаблон, проект для категории структурно идентичных элементов. Созданные таким образом элементы называются *экземплярами* (instance) и соответствуют "печенью" в предлагаемой метафоре. Другая точка зрения выражается фразой "класс как фабрика экземпляров". Класс состоит из образца и механизма создания элементов по этому образцу. Экземпляры есть индивидуальные элементы, "произведенные" "творительным" механизмом класса. С третьей точки зрения,

класс – совокупность элементов, созданная по определенному образцу. Иначе говоря, класс – это множество экземпляров этого образца. Берард описывает термином "объект" как классы, так и их экземпляры.

С точки зрения "фабрики экземпляров" *метакласс* – класс, экземплярами которого являются другие классы. *Параметризованный класс* – шаблон для непараметризованного класса, для создания которого необходимо определить специфические компоненты шаблона.

Объекты рассматриваются как "черные ящики". Внутренняя реализация объекта прячется от тех, кто его использует. Пользователи класса не нуждаются в знании "как" работает объект, они должны использовать знание о том, "что" объект может для них сделать. Работа с объектом осуществляется через три *интерфейса*.

Общедоступный, публичный интерфейс открыт (виден) для всех. Интерфейс наследования доступен только при прямой специализации объекта (подклассы для класс-ориентированных ОО систем). *Параметрический интерфейс* определяет те параметры параметризованного класса, которые необходимо определить для создания экземпляра. Когда элемент описывается в публичном интерфейсе, мы говорим, что объект экспортирует этот элемент. Аналогично, если объекту требуется информация снаружи (например, параметры для параметризованного класса), то говорят об импорте этой информации.

Агрегация – это либо процесс создания нового объекта из двух или более объектов, либо сам объект, созданный таким образом. *Монолитный* объект имеет неразличимую снаружи структуру, он не кажется созданным из других объектов и рассматривается как единое целое. Ничто снаружи монолитного объекта не может прямо взаимодействовать с любыми (воображаемыми или реальными) объектами, находящимися внутри монолитного. *Композитные* объекты имеют структуру, различимую снаружи, к которой можно обращаться через публичный интерфейс. Объекты, составляющие композитный объект, называются *компонентными*. Композитные объекты соответствуют одному или двум критериям: на состояние композитного объекта прямо влияет наличие или отсутствие одного или более его компонентных объектов и/или на компонентные объекты можно прямо ссылаться через публичный интерфейс соответствующего композитного объекта. *Гетерогенные композитные* объекты состоят из концептуально разных компонентных объектов. Например, "дата" состоит из "дня", "месяца" и "года". *Гомогенные композитные* объекты состоят из концептуально единых компонент. Например, "список адресов" – гомогенный композитный объект.

Специализация – это либо процесс определения нового объекта, как правило, основанного на более узком определении уже существующего объекта, либо объект, определенный более узко, чем другой, относящийся к нему объект (называемый *обобщением*). В ОО контексте, мы говорим о специализации как о "наследовании" характеристик от соответствующих обобщений. *Наследование* может быть определено как процесс, посредством которого один объект приобретает характеристики одного и более других объектов, и, соответственно, разделяется на *одиночное* и *множественное* наследование. *Абстрактный класс* воплощает согласованную и связную, но неполную концепцию. Мы никогда не сможем создать экземпляр абстрактного класса, а должны специализировать его, дополнив посредством наследования.

Операция, находящаяся в публичном интерфейсе, рекламирует функциональную способность соответствующего объекта. На действительный алгоритм выполнения операции ссылаются как на *метод*. В отличие от операций, методы прячутся внутрь объекта. Иногда операции, находящиеся в общедоступной части интерфейса, называют *допустимыми операциями* или *экспортируемыми*. Существует три большие разновидности экспортируемых операций. *Селектор* – это операция, выдающая информацию о состоянии объекта и по определению не имеющая права его изменять. *Конструктор* – операция, способная изменять состояние объекта (некоторые ограничивают это понятие только операциями создания эк-

земляров класса). В контексте гомогенных композитных объектов *итератор* представляет собой операцию, позволяющую получить доступ к компонентным объектам. *Активные (открытые)* итераторы сами являются объектами. *Пассивные (закрытые)* реализованы в виде операций в интерфейсе объекта, к содержимому которого они будут предоставлять доступ. Опираясь на изложенное выше, пассивные *селекторные* операции не имеют права модифицировать состояние объектов, в отличие от *конструктивных*. *Примитивными* называют те операции, которые не могут быть реализованы еще проще (примитивнее), эффективнее и надежнее без прямого знания лежащей в основе (к тому же скрытой) внутренней реализации объекта. Например, для объекта "список" операции "удалить элемент" и "добавить элемент" являются примитивными, а операция "обменять элементы" – нет. Следовательно, *композитными (составными)* являются операции, составленные из других (или имеющие возможность такого составления). Иногда объекты, чтобы поддержать свои характеристики, нуждаются в помощи. *Требуемые (импортируемые)* операции необходимы для поддержания внешне различных характеристик, но которые объект предоставить сам не может.

Константы – это объекты, имеющие неизменное (константное) состояние. Часто это экземпляры простейших типов, предоставляемые в интерфейсе объекта для удобства его использования. Например, такой константой является число в публичном интерфейсе ограниченного списка, обозначающее максимально возможное количество элементов в таком списке. В некоторых случаях, таких, как алгоритмы шифрования, константы абсолютно необходимы.

Кроме операций и констант, в публичном интерфейсе объектов могут находиться также исключения (exceptions). *Исключение* имеет два разных определения: это событие, временно прекращающее нормальное выполнение приложения, а также набор информации, прямо относящейся к такой задержке работы программы. Когда встречается нестандартная ситуация (но не непредусмотренная), *активируется* соответствующее исключение. Также используются термины *возбуждать* и *бросать* исключения (raise, throw). Как только активируется исключение, прекращается нормальное выполнение программы и управление передается локальному *обработчику* соответствующего исключения. Если же такого нет или он не предназначен для оперирования данным исключением, говорят о *распространении исключения*, т. е. о передаче управления на более высокий уровень приложения. Основное отличие исключений от кодов ошибок, использовавшихся ранее, состоит в том, что исключения невозможно игнорировать. Не будучи обработанным локально, оно распространяется все выше и выше, пока не будет обработано или пока не прекратит функционировать все приложение. Обработчик проверяет тип исключения и при опознании предпринимает определенный набор действий, деактивируя, таким образом, исключение. Выполнение описанных действий и называется *обработкой исключения* (handling the exception).

Систему, компоненты которой весьма независимы, легче исправлять и развивать, чем систему с сильными взаимозависимостями между компонентами. Высокая независимость компонент возможна при минимальном сцеплении компонент и их большой связности. *Сцепление* (coupling) – это мера силы соединения между двумя частями системы. Чем больше один компонент знает о другом, тем теснее (хуже) сцепление между ними. *Связность*, сплоченность (cohesion) – мера логических соотношений частей компонента между собой и целым компонентом. Чем больше логически относятся друг к другу части, тем выше (лучше) связность этого компонента. *Объектное сцепление* описывает степень взаимосвязей объектов, составляющих систему. Для построения системы, мы должны связать (сцепить) до некоторой степени объекты, которые необходимы в системе. Это *необходимое объектное сцепление*. Тем не менее при проектировании одного объекта, снабжая его прямым знанием о других объектах, мы делаем лишние связи. *Ненужное объектное сцепление* уменьшает как возможность повторного использования отдельных объектов, так и надежность всей системы, составленной из таких объектов. С другой стороны, *объектная связность* – это мера

логического отношения компонент объекта друг с другом при рассмотрении снаружи этого объекта. Например, опишем объект "дата" как состоящий из объектов "день", "месяц", "год" и "зеленый цвет". Мы должны признать, что объект "зеленый цвет" не совсем подходит для определения "даты" и понижает связность описываемого объекта. Необходимо стремиться к более высокой связности объектов по двум причинам. Во-первых, обладающие низкой связностью объекты с высокой степенью вероятности будут изменяться в дальнейшем, более вероятны нежелательные побочные эффекты при таком изменении. Во-вторых, плохая связность объектов не способствует их более легкому повторному использованию.

При разработке ОО моделей и программ быстро пришли к заключению о недостаточности одиночных классов и экземпляров. Необходимо создавать большие объекты и работать с ними. *Системы объектов* определяют как два или более взаимодействующих или взаимоотносящихся невложенных объекта. Таким образом, из определения исключаются простые агрегации композитных объектов. Системы объектов разбиваются на две большие категории: комплекты (наборы, конструкторы) и системы взаимодействующих объектов. *Комплект (kit)* – набор элементов (классов, метаклассов, параметризованных классов, неклассовых экземпляров, других комплектов и/или систем взаимодействующих объектов), предназначенных для поддержки единственной, большой, связной (coherent), объектно-ориентированной концепции, такой, как компьютерные графические окна или страховой полис. Несомненно, некоторые элементы такого набора могут быть физически сцеплены. Тем не менее комплекты обычно "зернистые". Хотя все компоненты набора логически связаны, существует мало физических связей, соединяющих их вместе. Комплекты больше похожи на библиотеки в алгоритмической парадигме. Например, коллекция разнообразных окон и оконных компонент может рассматриваться как комплект. *Система взаимодействующих объектов (СВО)* также представляет набор подобных элементов, поддерживающих, как и в комплектах, единую концепцию. Но некоторые элементы должны быть прямо или косвенно физически соединены. Более того, СВО имеют как минимум один внутренний, независимо выполняющийся поток управления. Наконец, СВО могут выставлять несколько полностью непересекающихся интерфейсов. Системы взаимодействующих объектов подобны приложениям. Например, необходимо создать систему управления лифтами в некотором здании. Мы собираем "лифты", "лампы", "панели" и другие объекты в одно работающее приложение. Оно является единым целым с высокой степенью связности и не может рассматриваться в качестве библиотеки. Такое приложение и является СВО.

В литературных источниках по ОО проблематике наиболее часто обсуждаются преимущества ООПар, со всех сторон на пытливого исследователя сыпятся хвалебные отзывы, рекламные прокламации. И очень мало информации о трудностях разработки самого ОО подхода, его недостатках и слабых местах. Приведем некоторую информацию [13] именно о недостатках ООПар (табл. 2) и ввиду ограниченности объема журнальной статьи перенесем обсуждение в следующие работы.

Основная цель данной статьи – описание основных черт объектно-ориентированной парадигмы программирования и выражение точки зрения автора – выполнена. Помимо этого необходимо отметить, что выполнены и другие сопутствующие задачи: даны определения основных терминов, их точное наименование и смысл, вкладываемый автором, эти достижения необходимы для более плодотворной дальнейшей работы и наиболее полного понимания читателем формулируемых в этой и последующих статьях мыслей. Показана необходимость и актуальность выполнения дальнейших исследований по данной тематике. Следующим шагом представляется привлечение идей системологии [14] к попытке решить выявленные проблемы, решению частных задач ООПар (повторное использование, идентификация ключевых абстракций и пр.) [15].

Недостатки ООПар

Проблема	Краткое описание
Определение и обнаружение задач	ООПар слаба в определении проблем (задач) в слабоструктурированных проблемных областях
ООПар & натуральность	ООПар не так натуральна, как многие полагают
ООПар & натуральность 2	Прорехи в концептуальной модели могут обернуться неправильными применениями и ошибками
Множественные и противоречивые представления (views)	ООПар не предоставляет адекватную поддержку множественных представлений
SQL представления	Так же
Ad-hoc запросы	В чистой ОО модели нет поддержки ad-hoc запросов (запросы, составленные "по случаю", при неотложной необходимости получить результаты сейчас, в противопоставление жестко закодированным в ОО методах запросах к БД). Поддержка этого противоречит принципу инкапсуляции
OIDs и взаимодействие с реальным миром	OIDs (идентификаторы объектов) не взаимодействуют содержательно с реальным миром
OIDs и семантика PART-OF отношений	Никакой семантики к OIDs не присоединяется, как следствие, слабое представление сущностей (entities)
Проблема размещения методов (кода операций)	Размещение методов важно в базах данных – не рассматривается в рамках ООПар
ООПар и знания человека	В ООПар предположения о знаниях человека не настолько аккуратны, как утверждают многие
Рассмотрение всего в качестве объектов	Не подходит в области баз данных
Поддержка представлений	В ООПар нет поддержки представлений (то же для реляционных представлений)
Отсутствие формального основания	Следовательно, качество S/L (symbol level – символьный уровень)
Отсутствие декларативного языка	В ООПар нет эквивалента для SQL
Конфликт иерархии классов	Существующие механизмы в S/L требуют наличия K/L (knowledge level – уровень знаний) механизмов
Неопределенная информация	Выводы, касающиеся неопределенной и двузначной информации, кажется, игнорируются в ООПар
Результаты исследования связей	Слабая поддержка связей в ООПар. Необходим K/L для поддержки не прямой целостности
Проблема субъективных представлений	Акцентирование на объектах может привести к проблемам в интегрированных наборах программ – требуется также рассмотрение субъекта
Проблемы расширяемости	Некоторые типы расширений, необходимые на практике, не поддерживаются
Проблема коммуникации	Притязания ООПар на усовершенствованную коммуникацию не справедливы в слабоопределенных (ill-defined) областях
Рассмотрение конкретных случаев	Выявляет некоторые проблемы разных уровней – эффективность передачи сообщений, стоимость динамического связывания, параллелизм и т. д.

Список литературы: 1. *Badd T.* Объектно ориентированное программирование в действии: Пер. с англ. С.-Пб.: Питер, 1997. 464 с. 2. *The Object Management Group "Strategic Approach to Value Chain Integration"* / URL: <http://www.omg.org>, 2000. 3. *Орфалу Р., Харки Д.* Java и CORBA в приложениях клиент-сервер. М: "ЛЮРИ", 2000. 712 с. 4. *Фаулер М., Скотт К.* UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования: Пер. с англ. М: Мир, 1999. 191 с. 5. *Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А.* Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. М: ДМК, 2000. 432 с. 6. *Inside Unified Modeling Language* / URL: <http://www.rational.com>, 2000. 7. *Кун Т.* Структура научных революций: Пер. с англ. Под общ. ред. С.Р. Микулинского. М: Прогресс, 1977. 300 с. 8. *Booch G.* The End of Objects and the Last Programmer / URL: <http://pwww.rational.com>. 9. *A History of Object Oriented Programming Language and their Impact on Program Design and Software Development* / URL: <http://www.cyberdyneobjectsys.com>. 10. *Буч Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++: Пер. с англ. М: Бином, 1999. 560 с. 11. *Edward V. Berard* Basic Object Oriented Concepts / The Object Agency. URL: <http://www.toa.com/pub/OOBasic.pdf>. 12. *Edward V. B.* What is a Methodology? / The Object Agency. URL: <http://www.toa.com/pub/method.txt>. 13. *Shajan M.* Critique of the Object Oriented Paradigm: Beyond Object Orientation / URL: <http://members.aol.com/shaz7862/critique.htm>, 1997. 14. *Мельников Г.П.* Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. Радио, 1978. 368 с. 15. *Ковалев С.А.* Возможности использования системологии в объектно-ориентированной парадигме // 6-я международная конференция "Теория и техника передачи, приема и обработки информации" ("Новые информационные технологии"): Сб. научных трудов. Х.: ХТУРЭ, 2000. С. 78.

Поступила в редколлегию 6.10.2000

УДК 519.71

Е. И. КУЧЕРЕНКО

О ПОЛНОТЕ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение

Технологические объекты в различных предметных областях характеризуются сложным параллельно-последовательным взаимодействием существенно нечетких процессов управления, которые реализуются с использованием как традиционных, так и интеллектуальных подходов [1], в частности, с использованием экспертных систем, баз знаний и машин логического вывода.

Такая тенденция к построению систем существенно расширяет возможности пользователя по управлению объектами, снижает затраты на требуемые ресурсы. Традиционные и интеллектуальные компоненты систем функционируют в тесной взаимосвязи, взаимно дополняя друг друга. Однако в таких ситуациях существенное значение приобретают нечеткие составляющие при описании процессов управления и принимаемых решений, что приводит к необходимости преодоления ряда трудностей в их реализации.

Постановка задачи

Рассмотрим проблемы, связанные с выявлением и устранением неполноты в реализации процессов управления и принимаемых решений. Качество решения этой проблемы часто является определяющим фактором, её анализу уделяется значительное внимание [2]. Однако ни вопросы её формализации, ни её решение в полной мере не реализованы.

Различают понятия внешней $\{Pl_n^{\prime}\}, n \in N^{\prime}$ и внутренней $\{Pl_n^{\prime\prime}\}, n \in N^{\prime\prime}$ полноты [2]. Эти понятия определим следующим образом:

Определение 1. Внешней полнотой $\{Pl_n^{\prime}\}, n \in N^{\prime}$ будем называть ситуацию, когда на множестве решений $\{\tilde{A}_u^{\prime\prime}\}, u \in U$ присутствуют все ожидаемые решения $\{\tilde{A}_r^{\prime}\}, r \in R, R \subseteq U$.

Определение 2. Внутренней полнотой $\{Pl_n^{\prime\prime}\}, n \in N^{\prime\prime}$ будем называть ситуацию, когда на множестве решений $\{\tilde{A}_u^{\prime\prime}\}, u \in U$ нет таких решений и оценок, о которых нет достоверной информации.

Анализ понятий внешней и внутренней полноты дает возможность сформулировать следующее утверждение.

Утверждение 1. Внешняя полнота $\{Pl_n^{\prime}\}, n \in N^{\prime}$ и внутренняя полнота $\{Pl_n^{\prime\prime}\}, n \in N^{\prime\prime}$ в условиях существенно нечетких процессов управления взаимно дополняют друг друга и являются компонентами полноты $\{Pl_n\}, n \in N$, причем

$$\{Pl_n\} = \{Pl_n^{\prime}\} \cup \{Pl_n^{\prime\prime}\}, N = N^{\prime} \cup N^{\prime\prime}. \quad (1)$$

Доказательство утверждения 1 основано на анализе сущности компонент $\{Pl_n^{\prime}\}, \{Pl_n^{\prime\prime}\}$ и предметных областей.

Следствие 1. В дальнейшем, если это не будет вызывать неопределенности, мы будем рассматривать полноту в смысле (1).

Таким образом, на множестве нечетких процессов $\{\tilde{\Pi}_i\}_{i \in I}$ математическая постановка решения задачи может быть представлена в виде

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \left(\forall Pl_n \in \{Pl_n\} \{Pl_n = true\}, i \in I, n \in N. \right) \quad (2)$$

Исследование подходов к решению проблемы выявления и анализа полноты

Нечеткие процессы управления и их взаимодействия опишем нечеткой сетевой моделью (НСМ), построенной с использованием положений развитого аппарата теории расширенных интерпретированных сетей Петри (РИСП) [3] и теории нечетких множеств[4].

Определение 3. Пространство состояний НСМ $\tilde{S}(f)$ определим множеством возможных достижимых маркировок

$$\{\tilde{M}(f)_v\} \cup \{\tilde{M}(f)_{0_w}\} \cup \{\tilde{M}(f)_{k_q}\}, v \in V, w \in W, q \in Q, \quad (3)$$

где $\tilde{M}(f) = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$ – вектор нечеткого текущего маркирования позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$,

$\tilde{M}(\tilde{p}_j)$ – маркирование позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}, j \in J$ НСМ $\tilde{S}(f)$; $\tilde{M}(f)_0 = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$ – вектор нечеткого начального маркирования позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$;

$\tilde{M}(f)_k = \{\tilde{M}(\tilde{p}_j): Z_{\tilde{p}_j}(k)\}$ – вектор нечеткого конечного (терминального) маркирования позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$;

$Z_{\tilde{p}_j}(k)$ – функция принадлежности маркирования \tilde{p}_j позиции НСМ множеству (3); k – некоторая переменная, определяющая значение функции $Z_{\tilde{p}_j}(k)$.

Утверждение 2. Решение задачи (1) основывается на моделировании процессов и анализе пространства состояний НСМ $\tilde{S}(f)$.

Доказательство утверждения 2 непосредственно следует из определения полноты и пространства состояний НСМ $\tilde{S}(f)$.

Формализация и анализ полноты в пространстве состояний НСМ

В качестве исходных данных, как следует из изложенного выше, следует принять следующее:

- множество начальных состояний системы $\{\tilde{A}_{0l}^{\prime\prime}\}_{l \in L}$;

- множество ожидаемых решений системы $\{\tilde{A}_r'\} r \in R$;
- множество фактических решений системы $\{\tilde{A}_u''\} u \in U$;
- $\{\mu_{\tilde{\Pi}_i}(k)\}$ – множество функций принадлежности i -му процессу.

Утверждение 3. Если при заданном множестве $\{\tilde{A}_{0l}''\}$, для множеств $\{\tilde{A}_r'\}$ и $\{\tilde{A}_u''\}$ справедливо

$$|\{\tilde{A}_r'\}| \leq |\{\tilde{A}_u''\}| \text{ и } \{\tilde{A}_r'\} \cap \{\tilde{A}_u''\} = \{\tilde{A}_u''\} \quad (4, 5)$$

а также

$$\forall \tilde{A}_u'' \in \{\tilde{A}_u''\}, \forall \tilde{A}_r' \in \{\tilde{A}_r'\} \left| \mu_{\tilde{A}_u''}(k_0) \geq \mu_{\tilde{A}_r'}(k_0) \right., \quad (6)$$

где $\mu_{\tilde{A}_u''} \vee \mu_{\tilde{A}_r'}(k_0)$ – функция принадлежностей множеству соответственно фактических или ожидаемых решений, тогда система характеризуется полнотой принимаемых решений.

Доказательство утверждения 3 непосредственно следует из постановки задачи исследований.

Сформулируем утверждения, определяющие основные положения, связанные с интерпретацией компонент исходных данных.

Утверждение 4. Множество начальных состояний $\{\tilde{A}_{0l}''\} l \in L$ интерпретируется в пространстве состояний НСМ множеством векторов начальной маркировки $\{\tilde{M}(f)_{0w}\} w \in W$, причем $|L| \neq |W|$.

Утверждение 5. Множество ожидаемых решений $\{\tilde{A}_r'\} r \in R$ интерпретируется в пространстве состояний НСМ подмножеством ненулевых компонент ожидаемых векторов маркирования позиций $\{\tilde{M}_l(f)''_q\} \cup \{\tilde{M}_l(f)'_{k_q}\}$ НСМ:

$$\begin{aligned} \{\tilde{M}_l(f)'_q\} \cup \{\tilde{M}_l(f)''_{k_q}\} &= \left\{ \left\{ \tilde{M}(\tilde{p}_j); Z_{\tilde{p}_j}(k) \right\} \right\}, q \in Q', \\ \{\tilde{M}_l(f)''_{k_q}\} &\subset \{\tilde{M}(f)''_{k_q}\}, q \in Q', \\ \{\tilde{M}_l(f)''_q\} &\subset \{\tilde{M}(f)''_q\}, q \in Q', \end{aligned} \quad (7)$$

где $\{\tilde{M}(f)''_q\}$ – множество ожидаемых векторов текущего маркирования $\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)\}$ по-

зиций; $\{\tilde{M}(f)''_{k_q}\}$ – множество ожидаемых векторов конечного маркирования позиций НСМ

$\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)_s\}, \{\tilde{p}_i(out)_s\}$ – множество конечных (терминальных) позиций НСМ.

Утверждение 6. Множество фактических решений $\{\tilde{A}_u''\}_{u \in U}$ интерпретируется в пространстве состояний НСМ подмножеством ненулевых компонент фактических векторов конечного маркирования позиций $\{\tilde{M}_2(f)''_q\} \cup \{\tilde{M}_2(f)''_{k_q}\}$ НСМ:

$$\begin{aligned} \{\tilde{M}_2(f)''_{k_q}\} &= \left\{ \left\{ \tilde{M}(\tilde{p}_j) : Z_{\tilde{p}_j}(k) \right\} \right\}, q \in Q'', \\ \{\tilde{M}_2(f)''_{k_q}\} &\subset \{\tilde{M}(f)''_{k_q}\}, q \in Q'', \\ \{\tilde{M}_2(f)''_q\} &\subset \{\tilde{M}(f)''_q\}, q \in Q'', \end{aligned} \quad (8)$$

где $\{\tilde{M}(f)''_q\}$ – множество фактических векторов текущего маркирования позиций $\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)\}$; $\{\tilde{M}(f)''_{k_q}\}$ – множество фактических векторов конечного маркирования позиций НСМ $\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)_s\}, \{\tilde{p}_i(out)_s\}$ – множество конечных (терминальных) позиций НСМ.

Доказательство утверждений 4-6 основывается на постановке рассматриваемой задачи и интерпретации НСМ.

Тогда очевидно, что решение задачи (1) с учетом соотношений (4, 5, 6) и принятой интерпретации (7, 8) может быть определено в виде следующего утверждения:

Утверждение 7. Система обладает полнотой принимаемых целевых (терминальных) решений $Pl'_{kn} \subset \{Pl'_n\}$, если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, при заданном множестве векторов $\{\tilde{M}(f)_{0_w}\}$ справедливы следующие условия:

$$-\forall \tilde{M}_1(f)_{k_q}' \in \{\tilde{M}_1(f)_{k_q}'\}, \forall \tilde{M}_2(f)_{k_q}'' \in \{\tilde{M}_2(f)_{k_q}''\} \left\| \left\{ \tilde{M}_1(f)_{k_q}' \right\} \leq \left\{ \tilde{M}_2(f)_{k_q}'' \right\} \right\|, \quad (9)$$

$$-\left\{ \tilde{M}_1(f)_{k_q}' \right\} \cap \left\{ \tilde{M}_1(f)_{k_q}'' \right\} = \left\{ \tilde{M}_1(f)_{k_q}' \right\}, \quad (10)$$

$$-\forall \tilde{M}_1(f)_{k_q}' \in \{\tilde{M}_1(f)_{k_q}'\}, \forall \tilde{M}_2(f)_{k_q}'' \in \{\tilde{M}_2(f)_{k_q}''\} \left\| Z_{\tilde{p}_j}'(k_0) \geq Z_{\tilde{p}_j}''(k_0) \right\|, \quad (11)$$

где $\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)_s\}$.

Утверждение 8. Система обладает полнотой принимаемых промежуточных решений $Pl'_{in} \subset \{Pl'_n\}$, если в пространстве состояний НСМ, моделирующей процессы, при заданном множестве векторов $\{\tilde{M}(f)_{0_w}\}$ справедливы следующие условия:

$$-\forall \tilde{M}_1(f)_q' \in \{\tilde{M}_1(f)_q'\} \vee \tilde{M}_2(f)_q'' \in \{\tilde{M}_2(f)_q''\} \left\| \left\| \{\tilde{M}_1(f)_q'\} \right\| \leq \left\| \{\tilde{M}_2(f)_q''\} \right\|, \quad (12)$$

$$-\{\tilde{M}_1(f)_q'\} \cap \{\tilde{M}_1(f)_q''\} = \{\tilde{M}_1(f)_q'\} \quad (13)$$

$$-\forall \tilde{M}_1(f)_q' \in \{\tilde{M}_1(f)_q'\} \vee \tilde{M}_2(f)_q'' \in \{\tilde{M}_2(f)_q''\} \left\{ Z_{\tilde{p}_j}'(k_0) \right\} \geq \left\{ Z_{\tilde{p}_j}''(k_0) \right\} \quad (14)$$

где $\tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_i(out)\}$.

На множестве нечетких процессов

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} (\forall Pl_n \in \{Pl_n\} \| Pl_n = True), i \in I, n \in N. \quad (15)$$

В качестве примера рассмотрим НСМ, моделирующую фрагмент нечетких процессов, для которого необходимо определить степень полноты.

Пусть задано:

$$\tilde{M}(f)_0 = (1,0,1,1,0,\dots,0); \quad \tilde{M}(f)'_k = (0,0,0,0,\dots,0,1,1,1); \quad \tilde{M}(f)''_k = (0,0,0,0,\dots,1,1,1,1);$$

$$\tilde{M}_1(f)'_k = (1,1,1); \quad \tilde{M}_2(f)''_k = (1,1,1,1);$$

$$\forall \tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \tilde{M}(f)'_k \left| Z_{\tilde{p}_j}(k_0) = 0,80; \quad \forall \tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \tilde{M}(f)''_k \left| Z_{\tilde{p}_j}(k_0) = 0,85.$$

В соответствии с утверждением 7 НСМ моделирует фрагмент нечетких процессов системы, который обладает полнотой принимаемых решений, так как выполняются условия

$$\left\{ \tilde{Z}_{\tilde{p}_j}'(k_0) \right\} = (1;1;1); \quad \left\{ \tilde{Z}_{\tilde{p}_j}''(k_0) \right\} = (1;1;1;1),$$

где $\left\{ \tilde{Z}_{\tilde{p}_j}(k_0) \right\}$ – обычное подмножество функций принадлежности, ближайшее к нечеткому [5].

$$\vee \left\{ \left\{ \tilde{Z}_{\tilde{p}_j}'(k_0) \right\} \right\} = \frac{2}{3} (|0,85 - 1| + |0,85 - 1| + |0,85 - 1|) = 0,30;$$

Тогда

$$\vee \left\{ \left\{ \tilde{Z}_{\tilde{p}_j}''(k_0) \right\} \right\} = \frac{2}{4} (|0,85 - 1| + |0,85 - 1| + |0,85 - 1| + |0,85 - 1|) = 0,30$$

словие (11) справедливо.

Анализ полноты принимаемых решений с использованием НСМ дает возможность пользователю на основе формальных подходов определять свойства полноты. Такой подход может быть положен в основу решения практических задач построения эффективных технологических комплексов в условиях существенно нечеткой среды взаимодействия процессов.

Выводы

1. На основе анализа условий и особенностей функционирования существенно нечетких процессов в сложных технологических комплексах обосновано и сформулировано представление о полноте принимаемых решений.

2. Предложен комплекс утверждений, позволяющих интерпретировать состояние нечетких процессов в терминах пространства НСМ.

3. Предложен подход к формализации процесса выявления полноты принятия решений в пространстве состояний НСМ.
4. Определены формальные условия полноты при взаимодействии процессов в нечеткой среде.
5. Подход может быть положен в основу построения эффективных инструментальных средств анализа процессов управления в сложных технологических комплексах.

Список литературы: 1. Ямпольский Л.С., Лавров О.А. Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом: Підручник. К.: Вища шк., 1995. 255с. 2. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений* /А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. М.: Радио и связь, 1989. 304с. 3. *Кучеренко Е.И., Фадеев В.А. Инструментальные средства моделирования процессов управления в сложных технологических комплексах* //Авиационно-космическая техника и технология. Тр. Гос. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского. Харьков. Гос. аэрокосмич. ун-т, 2000. Вып.14.С. 166-168. 4. *Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения* //ГИИЭР. 1989. Т.77, № 4. С. 41-85. 5. *Котман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц.* М.: Радио и связь, 1982. 432с.

Поступила в редколлегию 18.10.2000

УДК 681.518.54

Ф. М. АЛЬ САДИ, Р. В. ПЕТРОВА, В. А. ТИМОФЕЕВ

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕННЫХ ПОМЕХ

Задача оценивания параметров (идентификации) является неотъемлемой частью задач распознавания образов, классификации, прогнозирования, управления и т. п. Так например, задачи распознавания образов и классификации состоят в построении поверхности или разделяющей функции, которая в каком-либо смысле лучше всего разделяет многомерное пространство на области, соответствующие различным классам. Наиболее простым является разбиение на два класса, т. е. случай дихотомии. К дихотомии можно последовательно свести и общий случай, когда число классов превышает два. В случае дихотомии наиболее часто используется разделяющая функция в виде регрессивного управления, а задача построения разделяющей функции сводятся к оцениванию параметров этого уравнения, т. е. к параметрической идентификации.

Существует много методов решения этой задачи. Одним из наиболее эффективных является метод наименьших квадратов в некуррентном и рекуррентном вариантах. Более предпочтительным является второй, т. к. позволяет уточнять получаемые оценки по мере поступления новой информации, что является весьма важным, если оцениваемые параметры изменяются во времени.

Рекуррентный метод наименьших квадратов (РМНК) получил широкое распространение при решении задач идентификации, прогнозирования и адаптивного управления [1]. Существуют различные подходы к получению РМНК.

Наиболее распространенным является построение РМНК из обычного МНК на основании блочного представления матрицы наблюдений и использования леммы об обращении матриц. Модификация минимизируемого функционала (введение весовых параметров и т. д.) приводит к соответствующей модификации РМНК.

Рассмотрим несколько иной способ получения алгоритма РМНК. Пусть подлежащий идентификации объект описывается уравнением

$$Y_n = C_n^{*T} X_n + \xi_n \quad (1)$$

где Y_n – выходной сигнал; $X_n = (X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{Nn})^T$ – вектор входных сигналов $N \times 1$; $N \times 1$; $C_n^* = (C_{1n}^*, C_{2n}^*, \dots, C_{Nn}^*)^T$ – вектор оцениваемых нестационарных параметров; ξ_n – помеха; $n = 0, 1, 2, \dots$ – дискретное время.

Предположим, что помеха ξ_n ограничена по амплитуде, т. е.

$$|\xi_n| \leq \delta. \quad (2)$$

Алгоритм РМНК может быть непосредственно получен путем минимизации некоторого квадратичного функционала.

Так как для анализа вопросов сходимости рекуррентных алгоритмов широко используется критерий (функция Ляпунова) вида $\Theta^T P^{-1} \Theta$, где $\Theta = c^* - c$ – вектор ошибок идентификации; C – оценка вектора C^* ; P^{-1} – положительно определенная матрица, то целесообразно воспользоваться этим критерием для получения самого РМНК. Как показано в [2], минимизация функционала

$$C_n = I(C^*) = (C^* - C_{n-1})^T P_{n-1}^{-1} (C^* - C_{n-1}) + \gamma (Y_n - C_{n-1}^T X_n)^2, \quad (3)$$

где $\gamma > 0$ – некоторый параметр; C_{n-1} – оценка C^* , полученная на $(n-1)$ -м шаге, приводит к следующей форме РМНК:

$$C_n = C_{n-1} + \gamma \frac{P_{n-1} X_n}{1 + \gamma X_n^T P_{n-1} X_n} (Y_n - C_{n-1}^T X_n), \quad (4)$$

$$P_n = P_{n-1} - \gamma \frac{P_{n-1} X_n X_n^T P_{n-1}}{1 + \gamma X_n^T P_{n-1} X_n}. \quad (5)$$

При $\gamma = 1$ из выражений (4 и 5) следует обычный РМНК. Выбирая различные значения параметра γ , можно получить различные модификации РМНК.

Если ввести в рассмотрение функцию Ляпунова

$$V_n = \theta_n^T P_n^{-1} \theta_n \quad (6)$$

и рассмотреть её приращение $\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$, где $\Delta V_{n-1} = \Theta_{n-1}^T P_{n-1}^{-1} \Theta_{n-1}$, то можно показать, что для рассматриваемого случая наличия ограниченной помехи (2) сходимость алгоритма (4, 5), т. е. как несложно получить, выполнение условия

$$\Delta V_n \leq \gamma_n \delta^2 - \gamma_n \frac{e_n^2}{1 + \gamma_n X_n^T P_{n-1} X_n} \leq 0, \quad (7)$$

обеспечивается выбором параметра γ_n , удовлетворяющим условию [5]

$$\delta^2 (1 + \gamma_n X_n^T P_{n-1} X_n) - e_n^2 \leq 0, \quad (8)$$

где $e_n = \theta_{n-1}^T X_n + \xi_n$.

В работах [2, 3] показано, что использование условия (2) позволяет несколько упростить процесс идентификации путем огрубления алгоритма оценивания, заключающегося в использовании в алгоритме зоны нечувствительности. Так в работах [2-4] были изучены модифицированные алгоритмы РМНК (4, 5) с параметром γ_n , определяемым по правилу

$$\gamma_n = \alpha \frac{g(e_n, \beta \delta)}{1 + X_n^T P_{n-1} X_n}, \quad (9)$$

где $\alpha \in (0, 1]$; $\beta = \sqrt{1 + \alpha}$; $g(e_n, \beta \delta) = \begin{cases} \frac{f(e_n, \beta \delta)}{e_n}, & \text{если } |e_n| > \beta \delta \\ 0, & \text{если } |e_n| \leq \beta \delta \end{cases}$, что приводит к следующему алгоритму:

$$C_n = \begin{cases} C_{n-1} + \frac{\alpha P_{n-1} X_n f(e_n, \beta \delta)}{1 + (1 + g(e_n, \beta \delta)) X_n^T P_{n-1} X_n}, & \text{если } |e_n| > \beta \delta; \\ C_{n-1} & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (10)$$

$$P_n = \begin{cases} P_{n-1} - \alpha g(e_n, \beta\delta) \frac{P_{n-1} X_n X_n^T P_{n-1}}{1 + (1 + \alpha g(e_n, \beta\delta)) X_n^T P_{n-1} X_n}, & \text{если } |e_n| > \beta\delta; \\ P_{n-1} & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (11)$$

В работах [2, 3, 5] был предложен и рассмотрен алгоритм (4, 5) с γ_n , определяемым выражением

$$\gamma_n = \alpha \frac{g(e_n, \beta\delta)}{1 + (1 - \alpha g(e_n, \beta\delta)) X_n^T P_{n-1} X_n}, \quad (12)$$

где $\alpha \in [0, 1]; \beta = \sqrt{\beta_0 + \frac{1}{1 - \alpha}}$.

Подставляя данное выражение для параметра γ_n в соотношения (4, 5), получаем

$$C_n = \begin{cases} C_{n-1} + \frac{\alpha P_{n-1} X_n f(e_n, \beta\delta)}{1 + X_n^T P_{n-1} X_n}, & \text{если } |e_n| > \beta\delta; \\ C_{n-1} & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (13)$$

$$P_n = \begin{cases} P_{n-1} - \alpha g(e_n, \beta\delta) \frac{P_{n-1} X_n X_n^T P_{n-1}}{1 + X_n^T P_{n-1} X_n}, & \text{если } |e_n| > \beta\delta; \\ P_{n-1} & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (14)$$

Все эти алгоритмы (4, 5, 10, 11, 13, 14) пригодны для идентификации лишь в стационарных объектах, вследствие того, что норма входящей в алгоритмы матрицы P_n с ростом количества наблюдений уменьшается и в пределе равна нулю.

Один из возможных приемов модификации этих алгоритмов заключается в экспоненциальном взвешивании поступающей информации и делает их пригодными для идентификации нестационарных параметров, т. е. характерен для случая $C_n^* = \text{var}$ [3]. В данной работе [3] рассматривается еще один подход к адаптации алгоритмов (4, 5, 10, 11, 13, 14) в нестационарных условиях. Путем использования предложенного в [6] введения ограничения на матрицу ковариации, имеющего вид

$$\alpha_{\min} I \leq P_n \leq \alpha_{\max} I \quad \text{для всех значений } n, \quad (15)$$

где $0 < \alpha_{\min} < \alpha_{\max} < \infty$, I – единичная матрица.

По аналогии с РМНК начальные значения матрицы P_0 выбираются в виде

$$P_0 = \alpha I, \quad \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (16)$$

Воспользуемся этим подходом при синтезе алгоритмов идентификации (4, 5) и алгоритмов, содержащих зону нечувствительности (10, 11, 13, 14).

Учитывая, что функция Ляпунова определяется выражением (6), а сходимость алгоритма (4, 5), т. е. выполнение неравенства (7), обеспечивается выбором параметра γ_n , удовлетворяющим условию (8), предполагая, что оно выполняется, можно записать

$$\theta_n^T P_n^{-1} \theta_n \leq \theta_{n-1}^T P_{n-1}^{-1} \theta_{n-1} \leq \dots \leq \theta_0^T P_0^{-1} \theta_0 \quad (17)$$

Если в алгоритме используется ограниченная ковариационная матрица (15), то

$$\frac{1}{\alpha_{\max}} \|\theta_n\|^2 \leq \theta_n^T P_n^{-1} \theta_n \leq \frac{1}{\alpha_{\min}} \|\theta_n\|^2 \quad (18)$$

или же

$$\alpha_{\min} \theta_n^T P_n^{-1} \theta_n \leq \|\theta_n\|^2 \leq \alpha_{\max} \theta_n^T P_n^{-1} \theta_n. \quad (19)$$

Итерируя (7), получаем

$$V_n = V_0 - \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i (1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i) (\delta^2 - e_i^2)}{1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i}. \quad (20)$$

Из (18) следует, что $\lim_{n \rightarrow \infty} V_n = V_0 - \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i (1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i) (\delta^2 - e_i^2)}{1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i}$ откуда

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i (1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i) (\delta^2 - e_i^2)}{1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i} \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha} - \lim_{n \rightarrow \infty} V_n \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}. \quad (21)$$

Исследуем поведение на каждом шаге приращения оценки в случае применения алгоритмов (4, 5).

Вычтем из обеих частей выражения (5) оценку c_{n-1} и умножим полученное выражение слева на $(c_n - c_{n-1})^T$. Получим

$$\|c_n - c_{n-1}\|^2 = \frac{\gamma_n^2 x_n^T P_{n-1} x_n}{(1 + \gamma_n x_n^T P_{n-1} x_n)^2} \tilde{e}_n^2 \leq \alpha_{\max} \frac{\gamma_n^2 x_n^T P_{n-1} x_n}{(1 + \gamma_n x_n^T P_{n-1} x_n)^2} \tilde{e}_n^2, \quad (22)$$

где $\tilde{e}_n = e_n + \xi_n$.

Принимая во внимание, что $\frac{\tilde{e}_n^2}{1 + \gamma_n x_n^T P_{n-1} x_n} = \frac{(1 + \gamma_n x_n^T P_{n-1} x_n)}{(1 + \gamma_n x_n^T P_{n-1} x_n)^2} \tilde{e}_n^2$, и то, что из выраже-

ния (21) следует $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{(1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i) \tilde{e}_i^2}{(1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i)^2} \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}$, получим $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i \tilde{e}_i^2}{(1 + \gamma_i x_i^T P_{i-1} x_i)^2} \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}$.

Последнее соотношение позволяет записать неравенство (22) в виде

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \|c_n - c_{n-1}\|^2 \leq \alpha_{\max} \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}. \quad (23)$$

Полученные результаты для общего вида алгоритмов (4, 5) с ограниченной матрицей ковариации могут быть легко применены к вытекающим из (4, 5) модификациям, содержащим зону нечувствительности.

Так, при выборе параметра γ_n в соответствии с выражением (9), неравенство (21) принимает вид

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha g(e_i, \beta\delta) \left[1 + (1 + \alpha g(e_i, \beta\delta)) x_i^T P_{i-1} x_i \delta^2 - e_i^2 \right]}{1 + (1 + \alpha g(e_i, \beta\delta)) x_i^T P_{i-1} x_i} \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}, \quad (24)$$

а для случая $|e_n| > \beta\delta$ для приращения оценки на каждом шаге справедливо

$$\|e_n - c_{n-1}\|^2 = \frac{\alpha^2 x_n^T P_{n-1}^T P_{n-1} x_n}{1 + (1 + g(e_n, \beta\delta)) x_n^T P_{n-1} x_n} f^2(e_n, \beta\delta) \leq \alpha_{\max} \frac{\alpha x_n^T P_{n-1} x_n}{1 + (1 + g(e_n, \beta\delta)) x_n^T P_{n-1} x_n} f^2(e_n, \beta\delta) \quad (25)$$

Исследование алгоритмов (13, 14) с ограниченной матрицей ковариации (15) показывает, что для данной модификации справедливо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha g(e_i, \beta\delta)}{1 + x_i^T P_{i-1} x_i} \left((\beta^2 \delta^2 - e_i^2) - \beta_0 \delta^2 \right) \leq \frac{\|\theta_0\|^2}{\alpha}, \quad (26)$$

$$\|e_n - c_{n-1}\|^2 = \frac{\alpha^2 x_n^T P_{n-1}^T P_{n-1} x_n}{(1 + x_n^T P_{n-1} x_n)^2} f^2(e_n, \beta\delta) \leq a_{\max} \frac{\alpha x_n^T P_{n-1} x_n}{(1 + x_n^T P_{n-1} x_n)^2} f^2(e_n, \beta\delta) \quad (27)$$

Список литературы: 1. *Эйкофф П.* Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 683с. 2. *Halwass M.* "Least-Squares" – Modifikationen in Gegenwart begrenzter Stoaringen / Messen-steuern-regeln, 33, 1990 (8). S. 351-355. 3. *Руденко О.Г., Агаджанов С.Г., Теренковский И.Д.* Модификация алгоритмов рекуррентного МНК для идентификации нестационарных параметров при наличии ограниченных помех // АСУ и приборы автоматики: Сб. науч. трудов. Х.: ХТУРЭ. 1997. Вып. 105. С.16-21. 4. *Бедельбаева А.А.* Релейные алгоритмы оценивания // Автоматика и телемеханика. 1978. № 1. С. 87-95. 5. *Rapprochement between continuous and discrete model reference adaptive control* / G.C.Goodwin, D.J.Hill, D.Q.Mayne, R.H.Middleton // Automatica. 1986. № 2 (22). P. 229-238. 6. *Parkum J.E., Poulsen N.K., Holst J.* Recursive forgetting algorithms // Int. J.Control. 1992. Vol.55, № 1. P. 109-128.

Поступила в редколлегию 14.07.2000

УДК 57.007/.001.57

Т. В. ЖЕМЧУЖКИНА

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА СЕКРЕЦИИ ИНСУЛИНА
ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗОЙ**

Проблема опасных для жизни человека патологий углеводного обмена, в особенности гипергликемических его нарушений, называемых сахарным диабетом, уже давно привлекает внимание медиков и физиологов, а в последнее время также инженеров и математиков. Хотя инсулинотерапия сняла неотвратимость скорой летальности тяжелых форм сахарного диабета, но осталась проблема поздних его осложнений, которые сами по себе уже могут привести к летальному исходу. Установлено, что такие осложнения обусловлены недостаточно скомпенсированной хронической гипергликемией [1]. Для уменьшения опасности возникновения внезапной гипогликемии в результате передозировки инсулина необходимо дать обоснованные рекомендации по режиму инъекций каждому конкретному пациенту. Поскольку коррекция патологий методом проб и ошибок угрожает не только здоровью, но и жизни больного, оптимальный режим инъекций желательнее подбирать на основе математической модели.

Биохимические и физиологические вопросы секреции инсулина поджелудочной железой изучены уже, в общем, достаточно хорошо [2-5]. Однако некоторые особенности этого процесса еще не получили физиологически адекватного объяснения. В частности, непонятен механизм двухфазной секреции инсулина при внутривенном введении глюкозы и неясно, почему первая – острая – фаза секреции не проявляется при пероральном введении глюкозы. Пытаясь объяснить эти явления, физиологи вынуждены были выдвигать различные искусственные, не подтверждаемые клинически, гипотезы. Наиболее признанная из них предполагает наличие запасов инсулина в поджелудочной железе в виде двух отдельных пулов, обеспечивающих каждую фазу соответственно.

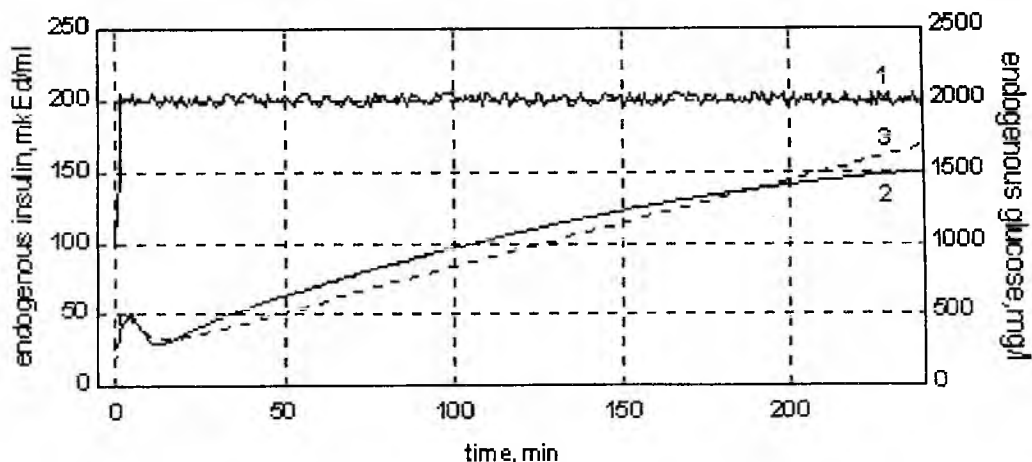
В процессе поддержания концентрации глюкозы в крови на определенном уровне задействованы печень, внепеченочные ткани и некоторые гормоны, из которых центральную роль в регуляции глюкозы играет гормон инсулин. Он синтезируется в поджелудочной железе β -клетками островков Лангерганса.

Поджелудочная железа человека в норме секретирует до 40-50 Ед инсулина в сутки, что соответствует 15-20 % общего количества гормона в железе [2]. Скорость секреции инсулина, необходимая для поддержания нормальной базальной концентрации гормона, колеблется от 0,25 до 1,5 Ед/ч. Результаты клинических исследований показали, что применение носимых либо имплантируемых дозаторов инсулина, обеспечивающих его инфузию в кровь не только перед едой, но и в базальном режиме, гораздо более эффективны в отношении нормализации гликемии, чем 2-3 инъекции перед употреблением пищи при классической инсулинотерапии [3].

Характерной особенностью секреции инсулина, вызванной глюкозной нагрузкой, является ее двухфазность. Немедленный ответ (или первая фаза секреции) начинается в пределах одной минуты после повышения концентрации глюкозы и продолжается в течение 5-10 мин. Затем наступает более медленная, продолжительная и мощная вторая фаза, обрывающаяся сразу после удаления глюкозного стимула.

Реакция инсулина плазмы крови на гипергликемию, вызванную внутривенным введением глюкозы и поддерживаемую затем длительное время на уровне 2000 мг/л (кривая 1) при постоянной скорости введения через капельницу, приведена на рисунке (кривая 2) [3].

Попытки моделирования механизма секреции инсулина поджелудочной железой пред-



принимались неоднократно. Р. Бергман и Р. Бьюколоу предложили модель поджелудочной железы, которая представляет собой систему девяти дифференциальных уравнений [6]. Исследователи моделировали биохимические реакции, проходящие в поджелудочной железе. При таком подходе необходимо учитывать большое количество факторов, влияющих на гормональную секрецию поджелудочной железы, однако все их учесть достаточно сложно. Аналогичный подход применили авторы модели функционирования системы α -, β -, δ -клеток островков Лангерганса поджелудочной железы [7]. Эта модель представляет собой систему шести дифференциальных уравнений, из которых первые три описывают изменения количества гормонов, секретиромых клетками, а три последующие – изменение концентрации гормонов в межклеточном пространстве. Обе модели громоздки и вследствие этого малоэффективны в качестве основы программы автоматизированного дозатора. Вторая, к тому же, дает физиологически неадекватные результаты.

В данной работе предлагается математическая модель секреции инсулина поджелудочной железой, при построении которой не преследовалась цель исчерпывающе описать биохимию поджелудочной железы. Она является феноменологической и при этом адекватной физиологическим данным. В основу математической модели положены следующие экспериментальные и клинические данные:

Поджелудочная железа в норме содержит запасы инсулина около 25 мг (625 Ед), что составляет 5-10-кратную суточную норму.

Управляющими сигналами в механизме регуляции секреции инсулина поджелудочной железой являются: уровень глюкозы в крови, интенсивность поступления экзогенной глюкозы в кровь и скорость ее нарастания.

Стимуляция секреции инсулина уровнем глюкозы в крови осуществляется непрерывно, но со значительным запаздыванием (порядка одного часа). Она относительно слабая и является главной в поздней фазе переходного процесса установления базальных значений уровней глюкозы и инсулина в крови.

В начальной и средней фазах переходного процесса изменения уровней глюкозы и инсулина в крови после еды главным управляющим сигналом в механизме секреции инсулина является интенсивность поступления экзогенной глюкозы. Этот сигнал остается главным также в случае внутривенного введения глюкозы и обеспечивает самую обильную, так называемую вторую фазу, секреции инсулина поджелудочной железой.

Влияние скорости нарастания интенсивности поступления экзогенной глюкозы проявляется лишь в первые минуты внутривенного введения глюкозы в виде первой кратковременной фазы секреции инсулина поджелудочной железой.

На основе экспериментальных и клинических данных получена математическая модель секреции инсулина поджелудочной железой:

$$\frac{di_s}{dt} = k_1 f'(t)e(f'(t)) + k_2 t f(t) + k_3 g(t - \tau) + i_{s_0}, \quad (1)$$

где $f(t)$ – скорость введения экзогенной глюкозы; $g(t)$ – уровень глюкозы в крови; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты пропорциональности и размерности; $e(z) = \begin{cases} 1, z \geq 0, \\ 0, z < 0 \end{cases}$ – единичная функция

Хевисайда; τ – время запаздывания; i_{s_0} – базальная скорость секреции инсулина.

Для расчета изменения концентрации глюкозы в крови необходимо учесть скорость распада инсулина. В этом случае уравнение скорости изменения уровня инсулина в крови будет иметь следующий вид

$$\frac{di}{dt} = k_1 f'(t)e(f'(t)) + k_2 t f(t) + k_3 g(t - \tau) + i_{s_0} - \zeta i, \quad (2)$$

где ζ – удельная скорость инактивации инсулина.

Для настройки полученной модели были проведены численные эксперименты, результаты которых сравнивались с данными клинических исследований. Так, поддерживая концентрацию глюкозы на уровне 200 мг% в течение четырех часов, получили изменение уровня инсулина (кривая 3), соответствующее полученному в клинике (кривая 2) с относительной погрешностью 8 %. Первый "всплеск" концентрации инсулина соответствует первой острой фазе его секреции в ответ на резкое увеличение скорости изменения уровня глюкозы в крови, а последующий медленный подъем – второй фазе.

Хорошее согласование расчетных модельных кривых с клиническими позволяет считать предлагаемую математическую модель секреции инсулина поджелудочной железой физиологически адекватной. Эта модель дает возможность просто и естественно объяснить двухфазный характер секреции инсулина при внутривенном введении глюкозы, не прибегая к искусственным дополнительным предположениям о механизме секреции. Модель объясняет также известное в клинических и физиологических данных отсутствие первой фазы секреции инсулина при медленном повышении уровня глюкозы в крови при пероральном ее введении.

Предлагаемая математическая модель секреции инсулина поджелудочной железой достаточно хорошо воспроизводит экспериментальные кривые и является физиологически обоснованной. Включив эту модель в общую модель системы ауторегуляции уровня глюкозы в крови [8], можно моделировать различные глюкозотолерантные тесты, подбирать оптимальные режимы инъекций инсулина для больных сахарным диабетом, что дает возможность корректировать патологию каждого конкретного больного с наименьшей вероятностью последующих осложнений в результате ошибок коррекции. Использование этой модели в качестве основы при построении программы работы автоматизированного носимого либо имплантируемого дозатора инсулина позволит превратить этот дозатор в электронное устройство, которое можно было бы назвать искусственной поджелудочной железой.

Список литературы: 1. David M. Nathan. Long-term complications of diabetes mellitus // The New England Journal of Medicine. 1993. Vol. 328, No. 23. P. 1676-1683. 2. *Биохимия человека: В 2 т.* Под ред. Р. Марри. М.: Мир. 1993. Т. 2. 414 с. 3. *Эндокринология и метаболизм.* Под ред. Ф. Фелига. М.: Медицина. 1985. Т. 2. 416 с. 4. *Кендыш И. Н.* Регуляция углеводного обмена. М.: Медицина. 1985. 272 с. 5. *Теппермен Дж.* Физиология обмена веществ и эндокринной системы. М.: Мир. 1989. 653 с. 6. *Бергман Р., Бьюколоу Р.* Нелинейная динамика метаболизма поджелудочной железы и печени. // *Динамические системы и управление.* М. 1973. Т. 95. № 3. С. 60-65. 7. *Атакишиев М. К., Мамедов А. А.* Математическая модель функционирования системы α -, β -, δ -клеток островков Лангерганса поджелудочной железы // *Изв. АН АзССР: Сер. биол. наук.* 1984. № 3. С. 100-106. 8. *Ланга С. И., Ланга Г. Е.* Математическая модель ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека // *Проблемы бионики.* 1999. Вып. 51. С. 49-55.

Поступила в редколлегию 28.12.1999

УДК 519.7

Н. А. ЯКИМОВА

ПРОСТОЕ СЛОВСОЧЕТАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА КАК ФОРМУЛА ЛОГИЧЕСКОЙ АЛГЕБРЫ

Проанализируем возможность представления любого словосочетания естественного языка независимо от типа связи слов в виде формулы логической алгебры. Рассмотрим предложение с точки зрения логической алгебры [1]. Возьмем в качестве примера объект "цветок", обладающий качеством "синий". Пусть объекту "цветок" соответствует некоторый вектор l логического пространства L , а качеству "синий" – логический скаляр α . Тогда синтагма "синий цветок" соответствует произведению вектора l на скаляр α , т. е. эта синтагма реализуется выражением αl . Проверим выполнение аксиом логической алгебры для выбранного пространства векторов и выбранного скалярного поля. В данном примере в качестве пространства векторов выступает множество всех объектов, а роль поля логических скаляров играет множество всех качеств объектов. На множестве векторов заданы булевы операции отрицания, дизъюнкции и конъюнкции. Тогда "не цветок" = "цветок" = l . Пусть объекту "платок" соответствует некоторый вектор $g \in L$. Тогда "цветок или платок" = "цветок" \vee "платок" = $l \vee g$, а "цветок и платок" = "цветок" \wedge "платок" = $l \wedge g$.

На множестве элементов скалярного поля заданы те же булевы операции. Тогда "не синий" = "синий" = α . Пусть качеству "большой" соответствует логический скаляр β . Тогда "синий или большой" = "синий" \vee "большой" = $\alpha \vee \beta$, а "синий и большой" = "синий" \wedge "большой" = $\alpha \wedge \beta$. Очевидно, что заданные таким образом операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания объектов и качеств удовлетворяют всем аксиомам логического поля. Союз "или" рассматривается как имя операции дизъюнкции объектов или свойств, союз "и" – как имя операции их конъюнкции, а частица "не" – как имя операции их отрицания [2]. Очевидно, что выполняются также и аксиомы, связывающие произведение логических скаляров и векторов, т. е. ассоциативность: $(\alpha\beta)l = \text{"(синий и большой) цветок"} = \text{"синий и (большой) цветок"} = \alpha(\beta l)$; дистрибутивность относительно дизъюнкции скаляров: $(\alpha \vee \beta)l = \text{"(синий или большой) цветок"} = \text{"синий цветок или большой цветок"} = \alpha l \vee \beta l$; дистрибутивность относительно дизъюнкции векторов: $\alpha(l \vee \gamma) = \text{"синий (цветок или платок)"} = \text{"синий цветок или синий платок"} = \alpha l \vee \alpha \gamma$. Следовательно, множество объектов можно рассматривать как векторное логическое пространство, заданное над скалярным полем, элементами которого являются качества объектов.

Если же в качестве скалярного поля взять множество объектов, а в качестве заданного над ним пространства векторов – множество качеств объектов, то, очевидно, что все аксиомы логического пространства также будут выполняться. Следовательно, множество качеств объектов также можно рассматривать как векторное логическое пространство, заданное над скалярным полем, элементами которого служат объекты. Рассмотренный пример иллюстрирует случай, когда зависимым словом в словосочетании является прилагательное. Однако очевидно, что для причастий, притяжательных местоимений, порядковых числительных и количественных числительных в косвенном падеже, которые также могут выступать в роли зависимого слова в словосочетании с таким видом связи, как согласование [3, 4], все аксиомы логического пространства также выполняются. Таким образом, из сказанного выше следует, что такой вид связи слов в словосочетаниях, как согласование, может быть формализован с помощью математического аппарата векторных логических пространств.

Рассмотрим теперь словосочетание как часть предложения, имея в виду, что словосочетание является результатом членения предложения на единицы, обладающие некоторой смысловой цельностью [5, с. 90]. В последнее время именно этот подход завоевал популяр-

ность в лингвистике. Был рассмотрен алгоритм выделения главных членов предложения [6]. Каждое предложение описывает некоторое отношение, выражаемое сказуемым. Подлежащее может быть выражено именем существительным, местоимением или другим склоняемым словом (прилагательным или причастием) в именительном падеже и обозначающим предмет [4], т. е. некоторый объект реального мира в принятой выше классификации. Сказуемое при этом выражает некоторый признак (действие, состояние, свойство, качество) предмета, описанного подлежащим. Если роль сказуемого играет причастие или прилагательное ("Цветок срезан.", "Девушка красива."), то такое сказуемое представляет собой свойство или качество подлежащего. Следовательно, в этом случае связь между подлежащим и сказуемым может быть формализована аналогично согласованию.

Наиболее распространенной разновидностью сказуемого является глагольное сказуемое. Рассмотрим простое глагольное сказуемое. Оно выражается:

- 1) формами изъявительного, сослагательного и повелительного наклонения ("Рассмотрим пример.", "Посмотрите внимательно.", "Увидел бы сразу.");
- 2) инфинитивом, подчеркивающим интенсивное начало действия ("Он пример – решать.");
- 3) междометной формой глагола ("Он туда – шасть.") [3].

Рассмотрим распространенные двусоставные предложения. Разобьем группу сказуемого на простые словосочетания и возьмем те из них, в которых главным словом является сказуемое, а зависимым – существительные, местоимения существительные или субстантивированные слова [3]. Тип связи слов в таких словосочетаниях представляет собой управление. Покажем, что и такие словосочетания могут быть формализованы с помощью аппарата логической алгебры.

В качестве скалярного поля возьмем множество глаголов-сказуемых, т. е. отношений в принятой выше классификации, а в качестве пространства векторов – множество зависимых слов в указанных словосочетаниях. Пусть, например, глаголам "взять" и "подарить" соответствуют логические скаляры γ и λ соответственно. Тогда "не взять" = "взять" = γ , "взять или подарить" = "взять" \vee "подарить" = $\gamma \vee \lambda$, "взять и подарить" = "взять" \wedge "подарить" = $\gamma \wedge \lambda$. Следовательно, для выбранных подобным образом элементов заданы булевы операции. А значит, это множество элементов действительно можно рассматривать как логическое поле. Зависимые слова в рассматриваемых словосочетаниях представляют собой в принятой классификации объекты. Правомочность их рассмотрения в качестве логического поля уже была продемонстрирована выше.

Проверим теперь выполнение аксиом, связывающих логические векторы и логические скаляры. Очевидно, что $(\gamma\lambda)l$ = "взять и подарить" цветок" = "взять и (подарить цветок)" = $\gamma(\lambda l)$, $\gamma(l \vee \gamma)$ = "взять (цветок или платок)" = "взять цветок или взять платок" = $\gamma l \vee \gamma g$, $(\gamma \vee \lambda)l$ = "взять или подарить" цветок" = "взять цветок или подарить цветок" = $\gamma l \vee \lambda l$, т. е. выполняются все аксиомы логической алгебры. Следовательно, такой вид связи слов в словосочетаниях как управление с главным словом, выраженным глаголом, также может быть формализован с помощью математического аппарата векторных логических пространств. Очевидно, что в рассматриваемых словосочетаниях в роли логических векторов взять сказуемые, а в качестве скаляров – зависимые от них слова, то аксиомы логической алгебры попрежнему будут выполняться. Значит, при формализации управления с глаголом в роли главного слова направление формализации аппаратом векторных логических пространств несущественно.

Рассмотрим теперь связь подлежащего и простого глагольного сказуемого. Множество слов, которые могут выступать в роли подлежащего, представляют собой множество "объектов". Как было показано выше, оно представляет собой логическое поле, как и множество слов, которые могут играть роль простого глагольного сказуемого. Пусть объектам "мальчик" и "девочка" соответствуют векторы h и d соответственно, а глаголам "играет" и

"рисует" – скаляры μ и τ соответственно. Тогда очевидно, что $(\mu\tau)h \neq$ "(играет и рисует) мальчик" = "играет и (рисует мальчик)" = $\mu(\tau h)$, $(\mu \vee \tau)h =$ "мальчик (играет или рисует)" \neq "мальчик играет или мальчик рисует" = $\mu h \vee \tau h$, $\mu(h \vee d) =$ "играет (мальчик или девочка)" = "играет мальчик или играет девочка" = $\mu h \vee \tau d$. Следовательно, все аксиомы логической алгебры в этом случае также выполняются, т.е. связь подлежащего и простого глагольного сказуемого может быть формализована точно так же, как и управление с глаголом в роли главного слова. Аналогично, если в качестве векторов взять сказуемые, а в качестве элементов скалярного поля – подлежащие, то и в этом случае аксиомы логического пространства будут выполняться. Отсюда ясно, что связь подлежащего и простого глагольного сказуемого также может быть формализована в любом направлении.

Управляющим словом также может служить существительное [3]. В этом случае и главное, и зависимое слова в словосочетании представляют собой "объекты" в выбранной классификации. Как было показано выше, множество объектов можно рассматривать и как векторное логическое пространство над некоторым скалярным полем, и как скалярное поле, над которым задано некоторое векторное логическое пространство. Покажем, что оно может служить одновременно и тем, и другим. Пусть объекту "листок" соответствует вектор ω , а объектам "роза" и "лилия" – скаляры ϕ и ψ соответственно. Тогда очевидно, что $(\phi\psi)l =$ "цветок (розы и лилии)" = "(цветок розы) и лилии" = $\phi(\psi l)$, $(\phi \vee \psi)l =$ "цветок (розы или лилии)" = "цветок розы или цветок лилии" = $\phi l \vee \psi l$, $\phi(l \vee \omega) =$ "(цветок или листок) розы" = "цветок розы или листок розы" = $\phi l \vee \phi\omega$. Следовательно, выполняются все аксиомы логической алгебры. Очевидно, что, как и в рассмотренных ранее случаях, направление формализации несущественно. Другими словами, и такой вид управления, где управляющее слово выражено существительным, может быть формализовано в любом направлении с помощью математического аппарата векторных логических пространств. При этом зависимое слово в словосочетании можно рассматривать как выражающее некоторое свойство или качество управляющего слова.

Рассмотрим теперь именное сказуемое, выраженное существительным. Такое сказуемое можно интерпретировать как некоторое свойство подлежащего и, таким образом, связь между подлежащим и сказуемым можно формализовать, как управление с главным словом в виде существительного. Такое сказуемое может быть присоединено к подлежащему с помощью сравнительных союзов "как", "будто", "словно", "что", "точно", "все равно что", "вроде как" ("Слово – как бритва.") или с помощью частицы "это" ("Песня – это радость.") Если сказуемое выражено существительным и соединяется с подлежащим с помощью глагольной связки "есть" (реже – "суть"), то такое сказуемое выражает признак, присущий подлежащему, и, следовательно, связь подлежащего и сказуемого также формализуется аналогично управлению с главным словом, выраженным существительным ("Куб есть геометрическое тело.").

Следующей разновидностью управляющего слова может служить прилагательное, причастие или порядковое числительное [3, 4]. Как уже было показано, множество таких слов можно рассматривать как логическое поле. Покажем, что для такого вида связи слов также выполняются аксиомы логической алгебры. Пусть управляющим словам "понятный" и "доступный" соответствуют логические векторы r и s , а зависимым словам "школьник" и "студент" – скаляры ρ и π соответственно. Тогда очевидно, что $(\rho\pi)r =$ "доступный (школьнику и студенту)" = "(доступный школьнику) и студенту" = $\rho(\pi r)$, $(\rho \vee \pi)r =$ "доступный (школьнику или студенту)" = "доступный школьнику или доступный студенту" = $\rho r \vee \pi r$, $\rho(r \vee s) =$ "(понятный или доступный) школьнику" = "понятный школьнику или доступный школьнику" = $\rho r \vee \rho s$, т. е. выполняются все аксиомы логической алгебры, причем, как и в рассмотренных ранее случаях, безразлично, какое именно из этих множеств брать в качестве логического пространства, а какое – в качестве скалярного поля, над которым задано это пространство. Следовательно, управление с главным словом в виде прилагательного,

причастия или порядкового числительного также в любом направлении может быть формализовано математическим аппаратом векторных логических пространств.

Последней разновидностью связей слов в словосочетаниях является примыкание. Если оно представлено сравнительной степенью прилагательного или неизменяемым прилагательным, то оно может примыкать только к существительному. Таким образом, такие словосочетания можно формализовать аналогично согласованию ("цвет синий или беж", "дом выше или пошире", "дом или дверь выше" и т.д.). К существительному может также примыкать инфинитив. Тогда формализацию можно проводить аналогично формализации управления с глаголом в роли главного слова ("желание или умение ~~работать~~", "желание отдыхать или работать" и т.д.). Если к существительному примыкает наречие, то такое примыкание также подчиняется законам логической алгебры. Пусть наречиям "пешком" и "вдвоем" соответствуют логические скаляры χ и ζ . Тогда "не пешком" = "пешком" = χ , "пешком или вдвоем" = "пешком" \vee "вдвоем" = $\chi \vee \zeta$, "пешком и вдвоем" = "пешком" \wedge "вдвоем" = $\chi \wedge \zeta$, т. е. множество наречий можно рассматривать как логическое поле.

Пусть существительным "прогулка" и "путешествие" соответствуют логические векторы t и f . Тогда очевидно, что $(\chi\zeta)t$ = "прогулка (пешком и вдвоем)" = "(прогулка пешком) и вдвоем" = $\chi(\zeta t)$, $(\chi \vee \zeta)t$ = "прогулка (пешком или вдвоем)" = "прогулка пешком или прогулка вдвоем" = $\chi t \vee \zeta t$, $\chi(t \vee f)$ = "(прогулка или путешествие) пешком" = "прогулка пешком или путешествие пешком" = $\chi t \vee \chi f$. Следовательно, в силу выполнения всех аксиом логической алгебры, и такой вид словосочетаний может быть формализован с помощью математического аппарата векторных логических пространств. Из этого следует, что если сказуемое в двусоставном предложении выражено наречием, то связь сказуемого и подлежащего можно формализовать аналогично рассмотренному виду примыкания. Причем очевидно, что, как и в рассмотренных выше случаях, безразлично, в каком направлении проводить формализацию.

Наречия могут примыкать к глаголу. Как было показано выше, и множество наречий, и множество глаголов представляют собой логические поля. Пусть глаголам "писать" и "читать" соответствуют векторы a и b , а наречиям "быстро" и "правильно" – скаляры δ и ω соответственно. Тогда $(\delta\omega)a$ = "(быстро и правильно) писать" = "быстро и (правильно писать)" = $\delta(\omega a)$, $(\delta \vee \omega)a$ = "(быстро или правильно) писать" = "быстро писать или правильно писать" = $\delta a \vee \omega a$, $\delta(a \vee b)$ = "быстро (писать или читать)" = "быстро писать или быстро читать" = $\delta a \vee \delta b$. Если же глаголы рассматривать как логические скаляры, а наречия – как логические векторы, то выполнение этих аксиом не нарушится. Следовательно, примыкание с главным словом в виде глагола и зависимым – в виде наречия можно в любом направлении формализовать средствами логической алгебры. Сказанное можно распространить и на тот случай, когда зависимым словом является деепричастие, т. к. оно обладает всеми грамматическими свойствами наречия.

Наречие также может примыкать к наречию. Пусть векторы c и v соответствуют наречиям "вниз" и "вверх". Очевидно, что $(\chi\zeta)c$ = (пешком и вдвоем) вниз" = "пешком и (вдвоем вниз)" = $\chi(\zeta c)$, $(\chi \vee \zeta)c$ = "(пешком или вдвоем) вниз" = "пешком вниз или вдвоем вниз" = $\chi c \vee \zeta c$, $\chi(c \vee v)$ = "пешком (вниз или вверх)" = "пешком вниз или пешком вверх" = $\chi c \vee \chi v$. Следовательно, и такой вид словосочетаний может быть формализован аппаратом логической алгебры, причем также в любом направлении. Наречие может также примыкать к прилагательному, числительному или причастию. Пусть наречиям "очень" и "экзотично" соответствуют скаляры σ и ϵ , а логические векторы p и q – прилагательным "красивый" и "яркий" соответственно. Тогда $(\sigma\epsilon)p$ = "(очень и экзотично) красивый" = "очень и (экзотично красивый)" = $\sigma(\epsilon p)$, $(\sigma \vee \epsilon)p$ = "(очень или экзотично) красивый" = "очень красивый или экзотично красивый" = $\sigma p \vee \epsilon p$, $\sigma(p \vee q)$ = "очень (красивый или яркий)" = "очень красивый или очень яркий" = $\sigma p \vee \sigma q$. Следовательно, и такой вид связи слов в словосочетаниях может быть формализован средствами логической алгебры, причем очевидно, также в любом направлении.

Инфинитив, кроме существительного, может также пояснять и глагол. Тогда если глаголам "попросить" и "уговорить" отвечают векторы k и i и соответственно, то $(\gamma\lambda)k =$ "попросить (взять и подарить)" = "(попросить взять) и подарить" = $\gamma(\lambda k)$, $(\gamma \vee \lambda)k =$ "попросить (взять или подарить)" = "попросить взять или попросить подарить" = $\gamma k \vee \lambda k$, $\gamma(k \vee i) =$ "(попросить или уговорить) взять" = "попросить взять или уговорить взять" = $\gamma k \vee \gamma i$. Из этой цепочки видно, что, и в этом случае можно формализовать связь слов в любом направлении средствами логической алгебры. Если же инфинитив поясняет прилагательное или причастие, то при соответствии, например, причастиям "желающий" и "просящий" логических векторов e и o , очевидно, что $(\gamma\lambda)e =$ "желающий (взять и подарить)" = "(желающий взять) и подарить" = $\gamma(\lambda e)$, $(\gamma \vee \lambda)e =$ "желающий (взять или подарить)" = "желающий взять или желающий подарить" = $\gamma e \vee \lambda e$, $\gamma(e \vee o) =$ "(желающий или просящий) взять" = "желающий взять или просящий взять" = $\gamma e \vee \gamma o$. Следовательно, и такой вид примыкания может быть формализован математическим аппаратом векторных логических пространств, причем направление формализации не играет роли.

Из всего изложенного выше следует, что любое простое словосочетание естественного языка может быть в любом направлении формализовано средствами логической алгебры.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Логическая алгебра // Проблемы бионики. 1991. Вып.46. С.3-10. 2. *Кольцов В.П., Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* О содержательной интерпретации алгебры идей // Проблемы бионики. 1990. Вып.45. С.10-17. 3. *Брицын М.А., Кононенко В.И.* Современный русский язык. – К.: Вища школа, 1983. 456 с. 4. *Грамматика русского языка: В 2 т. /* Под ред. Виноградова В.В., Истриной Е.С.: в 2т./ АН СССР. М., 1960. Т.2.: Синтаксис. 703с. 5. *Звегинцев В.А.* Предложение и его отношение к языку и речи. М.: МГУ, 1976. 305 с. 6. *Корнейчук Т.Б., Чудина А.Ф.* Система данных для анализа текста в области определения главных членов предложения // АСУ и приборы автоматики. 1992. Вып.98. С.76-83.

Поступила в редколлегию 16.03.2000

УДК 519.711.3+617.3

В. С. КАЧЕР

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОНЕЧНОСТЬ С ПРОТЕЗОМ ГОЛЕНИ

Введение

При протезировании нижних конечностей человека для выявления дефектов подгонки, а также изготовления более удобных в эксплуатации гильз, использовались различные подходы [13]. Изначально это были экспериментальные измерения давлений культи на стенки гильзы [1]. Данные исследования показывают объективную картину нагружения культи, но на стадии, когда гильза уже изготовлена и включена в состав протеза. На этом этапе исправить гильзу не всегда удается, поэтому в последнее время интерес исследователей направлен на другой, более современный, метод разработки гильз и выявления дефектов подгонки, который даст также возможность прогнозировать нагруженное состояние культи, – метод математического моделирования [2,3].

Анализ работ [2,3] показал, что аппаратом исследования являлись уравнения статического равновесия и метод конечных элементов. В большинстве случаев результаты моделирования сравнивались с результатами измерений. Но, по мнению ученых [3], для практического использования существующих моделей необходимо их дальнейшее развитие.

Целью данной работы является создание математической модели, которая позволит рассчитывать и анализировать силы, возникающие между культей инвалида и гильзой протеза с последующим использованием полученных результатов в практике протезирования.

Математическая модель протезированной конечности и постановка задачи

При исследовании процесса ходьбы обычно выделяют опорные фазы ходьбы и фазы переноса. Рассмотрим фазу опоры как наиболее нагруженную фазу шага и важную с точки зрения воздействия протеза на протезированную конечность. Опорная фаза шага содержит три периода: передний толчок (опора большей частью на пятку), середину фазы опоры и задний толчок (опора большей частью на носок). В данной работе будут представлены результаты моделирования сил, действующих на культю протезированной ноги для упомянутых выше опорных периодов.

Для рассмотрения расчетной схемы протеза голени (рис. 1), введем следующие обозначения: m, m_{cm} – массы голени и стопы; g – сила тяжести; R – равнодействующая сила реакции опоры; N_j – результирующая сила, действующая на площадке S_j , где $j = 1, \dots, n$; – радиус-векторы (на рисунке не указаны) с началом в точке A и вершинами в точках C_R, C_{cm}, C и точке приложения силы соответственно.

На поверхность гильзы наложена сетка, образующая площадки S_j . Все силы, действующие на площадку S_j , сведем к равнодействующей N_j , приложенной в j -ой контрольной точке гильзы (КТГ).

Пусть заданы: тестовое положение, т. е. r_{cm}, r_c ; сила реакции опоры R, r_R ; геометрия гильзы, т. е. r_j ($j = 1, \dots, n$); массы звеньев m, m_{cm} . Уравнения равновесия будут иметь вид

$$\begin{cases} -mg + R - m_{cm}g + \sum_{j=1}^n N_j = 0 \\ (r_c \times mg) + (r_R \times R) - (r_{cm} \times m_{cm}g) + \sum_{j=1}^n (r_j \times N_j) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

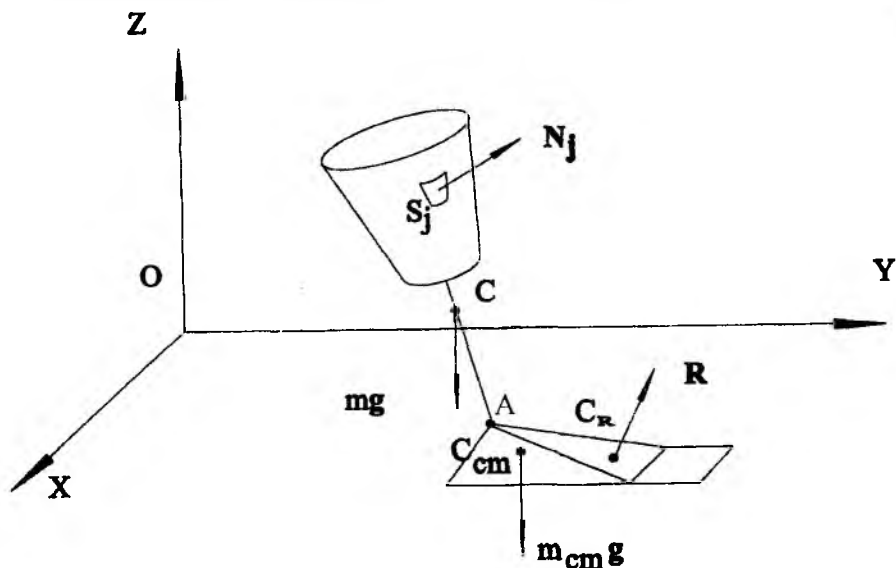


Рис. 1. Расчетная схема протеза голени

В уравнениях (1) неизвестными являются силы N_j . Силу N_j представим в виде двух касательных и нормали к поверхности гильзы. Положительное направление нормали соответствует направлению от середины гильзы наружу. Физически нормаль может иметь только положительное направление. Это отражают ограничения в виде неравенств

$$(N_{norm})_j > 0. \quad (2)$$

Очевидно, что при $n > 2$ система уравнений (1) становится статически неопределимой. Введем регуляризирующий функционал

$$\Phi = \sum_{j=1}^n N_j^2. \quad (3)$$

Физический смысл функционала состоит в том, что в любой момент опорной фазы человек старается стать так, чтобы силы, действующие на протезированную конечность, были минимальными. Таким образом, необходимо решить систему уравнений (1) относительно N_j , доставляющих минимум функционалу (3), при ограничениях в виде неравенств (2).

Алгоритм решения задачи и результаты моделирования

Для решения поставленной задачи минимизации использован метод штрафных функций [4], который основан на преобразовании исходной задачи с ограничениями в последовательность задач безусловной оптимизации. Данный алгоритм реализован в среде пакета MathCAD 7 Pro [5].

В качестве исходных данных для моделирования нагруженного состояния голени использованы данные экспериментальных исследований ходьбы конкретных инвалидов. На гильзу накладывали сетку, разбивающую ее на 40-100 площадок. Было рассмотрено влияние различных факторов (таких, как геометрия гильзы, количество точек сетки, пространственное положение) на распределение нагрузки.

В результате увеличение количества КТГ привело к уменьшению величины результирующей силы в каждой точке, но при этом сохранялся характер распределения сил по гильзе в целом.

Анализ давлений на сетках с различной частотой показал, что для корректной работы модели необходимо разбивать поверхность гильзы на площадки одинаковой площади. Это подтверждают результаты моделирования с использованием сетки, разбивающей поверхность на 40 и 80 площадок (рис. 2).

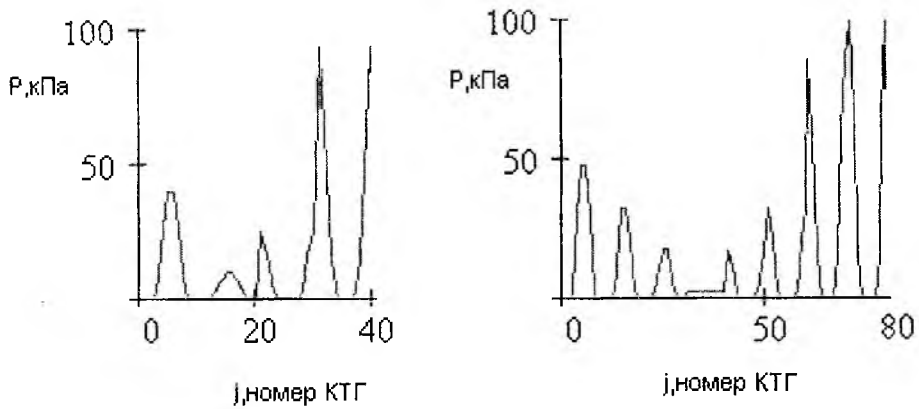


Рис. 2. Распределение давления для сеток, разбивающих поверхность гильзы на 40 и 80 площадок.

Следующим важным фактором, влияющим на результаты моделирования, являются геометрические размеры гильзы. Так, увеличение высоты гильзы, а значит, и площади боковой поверхности, привело к уменьшению давлений и касательных напряжений, возникающих между культей и культеприемной гильзой.

Исходя из правил протезирования, была сформирована гильза, которая максимально приближает модель к форме реальной гильзы (рис. 3). При моделировании были исключены точки, цифрами обозначены номера точек.

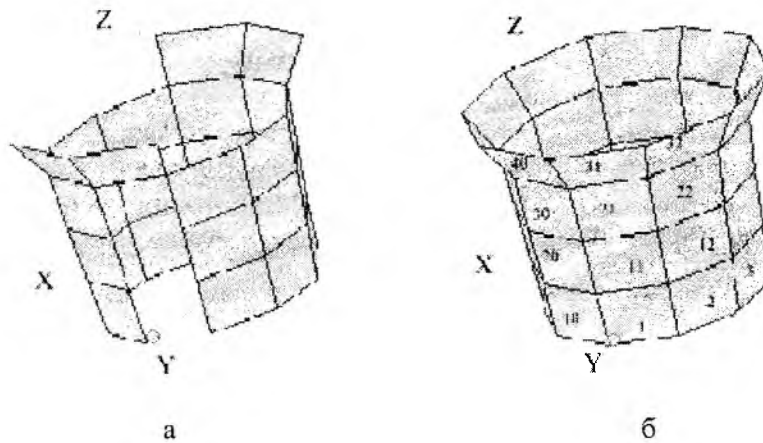


Рис. 3. Форма приближенная к а) реальной гильзе; б) исходная гильза

На рисунке видно, что исключена зона переднего края большеберцовой кости и зоны медиальной и латеральной шероховатости большеберцовой кости. Результаты моделирования представлены в виде графиков давления и касательных напряжений в различные опорные периоды (рис. 4, 5).

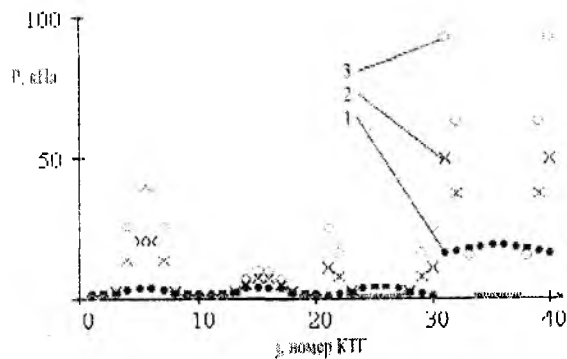


Рис. 4. Графики давлений на стенки гильзы:
1 – в период переднего толчка;
2 – середины фазы опоры;
3 – в период заднего толчка.

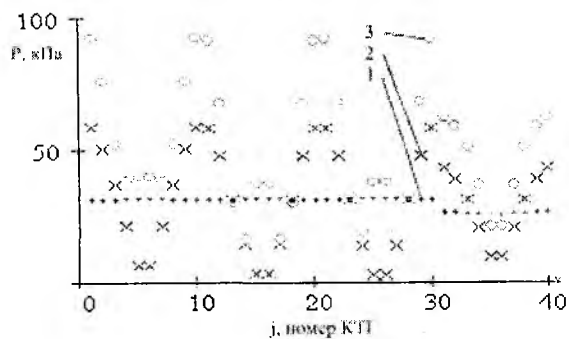


Рис. 5. Графики касательных напряжений:
1 – в период переднего толчка;
2 – середины фазы опоры;
3 – в период заднего толчка.

Выводы

Разработана математическая модель для расчета и анализа сил, действующих на протезированную конечность человека с протезом голени в рамках аппарата механики абсолютно твердого тела, с использованием оптимизационного алгоритма. Модель протестирована путем сравнения полученных данных с имеющимися в литературе. Порядок полученных величин и характер распределения нагрузки совпадают с литературными данными.

Проведенный анализ результатов моделирования по исходным данным конкретного инвалида для трех ключевых положений в опорной фазе показал, что наиболее нагружаемым состоянием является фаза заднего толчка. При этом посадочное кольцо гильзы воспринимает гораздо большие давления, чем остальная часть гильзы. Это соответствует правилам протезирования, которых придерживаются при проектировании и изготовлении гильз протезов.

Список литературы: 1. Иванова В.Н., Морейнис И.Ш. Исследование распределения давлений на культю голени в протезах различных конструкций // Протезирование и протезостроение. 1977. Вып. 42. С. 1621. 2. Quesada P., Skinner H.B. Analysis of a belowknee patellar tendonbearing prosthesis: A finit element study // J. Rehabil. Res. Dev. 1991. № 3. P. 112. 3. Sanders J.E., Daly C.H. Normal and shear stresses on a residual limb in a prosthetic socket during ambulation: Comparison of finit element results with experimental measurements // J. Rehabil. Res. Dev. 1993. № 2. P. 191204. 4. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование: теория и алгоритмы. М.: Мир, 1982. 5. Очков В.Ф. Mathcad 8 Pro для студентов и инженеров. М.: Копьютер-пресс, 1999.

Поступила в редколлегию 10.08.2000

УДК 617.586-073.175

М. Ю. КАРПИНСКИЙ, В. Д. ОСТРОУХОВ, М. В. СЕМЕНЕНКО

КОРРЕКЦИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Вопрос повышения информативности диагностических устройств для биомеханических исследований в ортопедии сегодня стоит очень остро. Большинство современных устройств для ортопедических исследований являются однофункциональными. Такие важные исследования опорнодвигательного аппарата, как плантография и стабилография, выполняются с помощью различных приборов. Однако часто бывает важно проводить их совместно, так как состояние стоп и способность сохранять равновесие обычно взаимнокоррелированы. При этом врачу желательно видеть проекцию общего центра масс (ОЦМ) на фоне изображения стоп. Таковую возможность дает ортопедический комплекс с многоэлементным индуктивным преобразователем (МИП), разработанный Харьковским НИИОиТ и ХТУРЭ. Однако, использование измерительных преобразователей с большим количеством датчиков накладывает требует решения ряда специфических проблем при обработке получаемой информации, связанных с разбросом характеристик датчиков, их нелинейностью и остаточной деформацией.

Основу комплекса составляет МИП, который состоит из 945 (27×35) элементарных датчиков размером 1×1 см. Датчик имеет две плоские катушки, разделенные упругим диэлектриком. Такие датчики механически надежны и дешевы, что в целом делает установку сравнительно недорогой. Информация (давление на элемент) собирается путем сканирования МИП. Инерционность электронных устройств, прежде всего детектора, не позволяет сканировать МИП с частотой выше 1 кГц, поэтому период сканирования довольно велик – около 1 с. Однако, как будет показано далее, во многих случаях его можно существенно уменьшить.

К главным недостаткам индуктивных датчиков следует отнести остаточную деформацию и нелинейность. Отсюда следует, что МИП требует регулярной калибровки. В таблице приведены результаты измерения по большой группе датчиков, из которых выбраны три: с максимальными, средними и минимальными значениями. Датчики нагружались одинаковыми нагрузками 2 Н, а затем 5 Н. Здесь $\Delta U_{\text{вых1}}$, $\Delta U_{\text{вых2}}$ – приращения выходных напряжений датчиков (U). Из таблицы видно, что имеется значительный разброс выходных сигналов, и зависимость $\Delta U_{\text{вых}}(P)$ – существенно нелинейная. Отсюда следует также, что для каждого

элемента при калибровке должна быть получена индивидуальная характеристика. Реально это возможно только при использовании специальной пневматической камеры из тонкой резины, в которую накачивается воздух с контролируемым давлением. Наиболее просто характеристики датчиков аппроксимировать параболой (рис. 1). Для повышения точности (особенно это важно в нижней части характеристики) целесообразно проводить аппроксимацию по трем точкам методом наименьших квадратов. Характеристика представляется выражением

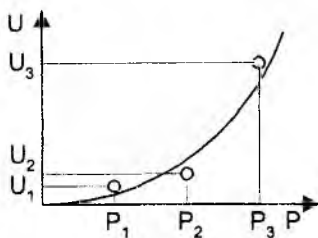


Рис. 1.

$$\Delta U_{\text{вых}} = a_1 P + a_2 P^2 \quad (1)$$

Коэффициенты a_1 и a_2 находят, приравнявая нулю частные производные функционала

$$F = \sum_{i=0}^n \left(a_1 P + a_2 P^2 - \Delta U_{\text{вых}i} \right)^2.$$

Это дает систему уравнений

$$\begin{aligned} a_1 \left(\sum P_i^3 \right) + a_2 \left(\sum P_i^4 \right) &= \sum P_i^2 \Delta U_{ВЫХi} \\ a_1 \left(\sum P_i^2 \right) + a_2 \left(\sum P_i^3 \right) &= \sum P_i \Delta U_{ВЫХi} \end{aligned} \quad (2)$$

В результате решения уравнений (2) можно получить формулы для коэффициентов a_1 и a_2 в явном виде. Эти коэффициенты образуют калибровочный файл.

Важно также учитывать следующее обстоятельство. В среднем с уменьшением массы пациента давление на поверхность стопы уменьшается, что приводит к переходу рабочих точек на нижние участки характеристики (см. рис.1). Так как изображение кодируется цветом по принципу "более высокое давление – более яркие цвета" (рис. 2), то плантограмма будет получаться более "темной" и монотонной; некоторые фрагменты изображения стопы могут быть утрачены, в связи с этим целесообразно ввести нормирование по массе пациента. Оно заключается в умножении коэффициентов a_1 и a_2 в выражении (1) на нормирующий множитель $K_{\text{норм}} = Q_{\text{ср}}/Q$, где $Q_{\text{ср}}$ – средняя (среднестатистическая) масса пациента. Его можно затем менять в процессе исследования, "подгоняя" под конкретного пациента.

При малых нагрузках (дети, подростки) и необходимости увеличения чувствительности возрастает влияние помех. Они появляются в виде цветных квадратиков в поле МИП вне контуров стоп (см. рис. 2). Для подавления этих помех применяют пространственную фильтрацию. Наиболее простой является среднеквадратическая фильтрация: давление на элемент получают как среднегеометрическое двух значений, полученных в двух последовательных циклах сканирования:

$$P_{ij} = \sqrt{P_{ij}^{(1)} \cdot P_{ij}^{(2)}}$$

Вероятность появления помехи в одном и том же месте равна $(1/945) \times (1/945) = 1,11 \cdot 10^{-6}$. При низком уровне помех (5–10 на все поле) этот способ дает хороший результат, но при уровне помех более 100 он малоэффективен. Кроме того, он уменьшает скорость сканирования.

При высоком уровне помех эффективно действуют оконные фильтры, особенно с весовыми коэффициентами 1 – 2 – 4. Эти фильтры подчеркивают горизонтальные и верти-

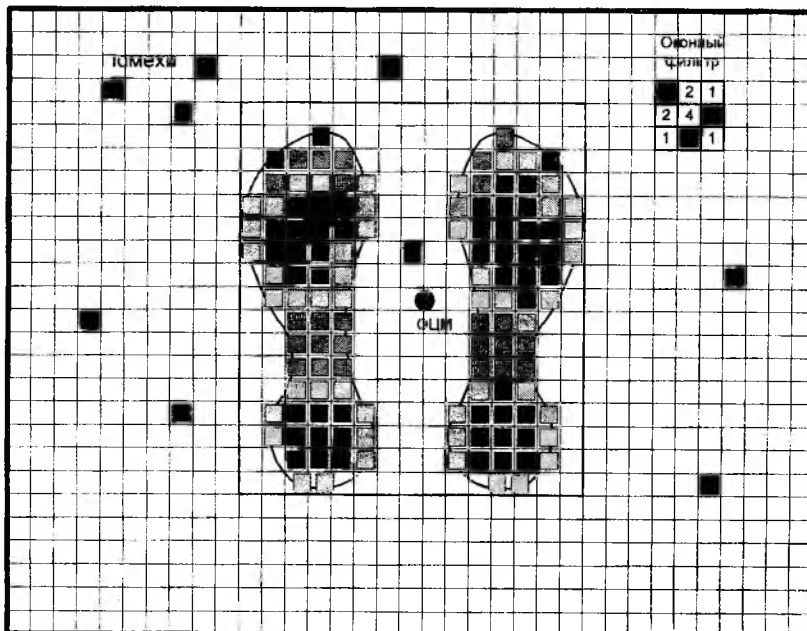


Рис. 2.

УДК 617.586-073.175

М. Ю. КАРПИНСКИЙ, В. Д. ОСТРОУХОВ, М. В. СЕМЕНЕНКО

КОРРЕКЦИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Вопрос повышения информативности диагностических устройств для биомеханических исследований в ортопедии сегодня стоит очень остро. Большинство современных устройств для ортопедических исследований являются однофункциональными. Такие важные исследования опорнодвигательного аппарата, как плантография и стабилография, выполняются с помощью различных приборов. Однако часто бывает важно проводить их совместно, так как состояние стоп и способность сохранять равновесие обычно взаимнокоррелированы. При этом врачу желательно видеть проекцию общего центра масс (ОЦМ) на фоне изображения стоп. Такую возможность дает ортопедический комплекс с многоэлементным индуктивным преобразователем (МИП), разработанный Харьковским НИИОиТ и ХГТУРЭ. Однако, использование измерительных преобразователей с большим количеством датчиков накладывает требует решения ряда специфических проблем при обработке получаемой информации, связанных с разбросом характеристик датчиков, их нелинейностью и остаточной деформацией.

Основу комплекса составляет МИП, который состоит из 945 (27×35) элементарных датчиков размером 1×1 см. Датчик имеет две плоские катушки, разделенные упругим диэлектриком. Такие датчики механически надежны и дешевы, что в целом делает установку сравнительно недорогой. Информация (давление на элемент) собирается путем сканирования МИП. Инерционность электронных устройств, прежде всего детектора, не позволяет сканировать МИП с частотой выше 1 кГц, поэтому период сканирования довольно велик – около 1 с. Однако, как будет показано далее, во многих случаях его можно существенно уменьшить.

К главным недостаткам индуктивных датчиков следует отнести остаточную деформацию и нелинейность. Отсюда следует, что МИП требует регулярной калибровки. В таблице приведены результаты измерения по большой группе датчиков, из которых выбраны три: с максимальными, средними и минимальными значениями. Датчики нагружались одинаковыми нагрузками 2 Н, а затем 5 Н. Здесь $\Delta U_{\text{вых}1}$, $\Delta U_{\text{вых}2}$ – приращения выходных напряжений датчиков (U). Из таблицы видно, что имеется значительный разброс выходных сигналов, и зависимость $\Delta U_{\text{вых}}(P)$ – существенно нелинейная. Отсюда следует также, что для каждого

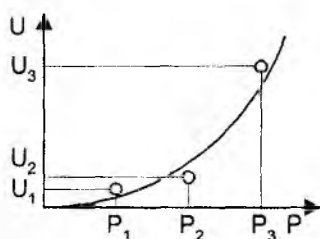


Рис. 1.

элемента при калибровке должна быть получена индивидуальная характеристика. Реально это возможно только при использовании специальной пневматической камеры из тонкой резины, в которую накачивается воздух с контролируемым давлением. Наиболее просто характеристики датчиков аппроксимировать параболой (рис. 1). Для повышения точности (особенно это важно в нижней части характеристики) целесообразно проводить аппроксимацию по трем точкам методом наименьших квадратов. Характеристика представляется выражением

$$\Delta U_{\text{вых}} = a_1 P + a_2 P^2 \quad (1)$$

Коэффициенты a_1 и a_2 находят, приравняв нулю частные производные функционала

$$F = \sum_{i=0}^n \left(a_1 P + a_2 P^2 - \Delta U_{\text{вых}i} \right)^2.$$

Это дает систему уравнений

$$\begin{aligned} a_1 \left(\sum P_i^3 \right) + a_2 \left(\sum P_i^4 \right) &= \sum P_i^2 \Delta U_{ВЫХi} \\ a_1 \left(\sum P_i^2 \right) + a_2 \left(\sum P_i^3 \right) &= \sum P_i \Delta U_{ВЫХi} \end{aligned} \quad (2)$$

В результате решения уравнений (2) можно получить формулы для коэффициентов a_1 и a_2 в явном виде. Эти коэффициенты образуют калибровочный файл.

Важно также учитывать следующее обстоятельство. В среднем с уменьшением массы пациента давление на поверхность стопы уменьшается, что приводит к переходу рабочих точек на нижние участки характеристики (см. рис. 1). Так как изображение кодируется цветом по принципу "более высокое давление – более яркие цвета" (рис. 2), то плантограмма будет получаться более "темной" и монотонной; некоторые фрагменты изображения стопы могут быть утрачены, в связи с этим целесообразно ввести нормирование по массе пациента. Оно заключается в умножении коэффициентов a_1 и a_2 в выражении (1) на нормирующий множитель $K_{норм} = Q_{ср} / Q$, где $Q_{ср}$ – средняя (среднестатистическая) масса пациента. Его можно затем менять в процессе исследования, "подгоняя" под конкретного пациента.

При малых нагрузках (дети, подростки) и необходимости увеличения чувствительности возрастает влияние помех. Они появляются в виде цветных квадратиков в поле МИП вне контуров стоп (см. рис. 2). Для подавления этих помех применяют пространственную фильтрацию. Наиболее простой является среднеквадратическая фильтрация: давление на элемент получают как среднегеометрическое двух значений, полученных в двух последовательных циклах сканирования:

$$P_{ij} = \sqrt{P_{ij}^{(1)} \cdot P_{ij}^{(2)}}$$

Вероятность появления помехи в одном и том же месте равна $(1/945) \times (1/945) = 1,11 \cdot 10^{-6}$. При низком уровне помех (5–10 на все поле) этот способ дает хороший результат, но при уровне помех более 100 он малоэффективен. Кроме того, он уменьшает скорость сканирования.

При высоком уровне помех эффективно действуют оконные фильтры, особенно с весовыми коэффициентами 1 – 2 – 4. Эти фильтры подчеркивают горизонтальные и верти-

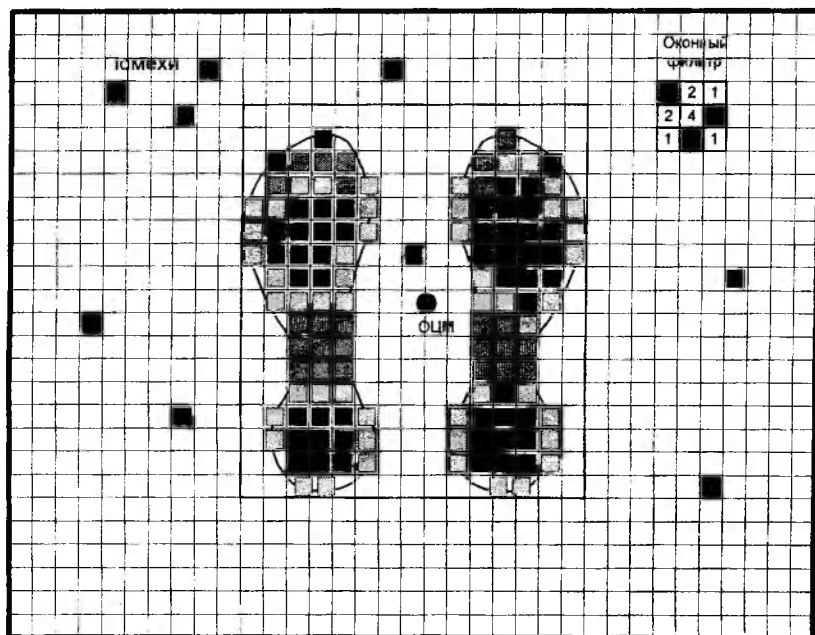


Рис. 2.

кальные линии. Сумма масс фильтра равна 16. Результат фильтрации присваивается центральному элементу и равен сумме произведений весов $1/16$, $2/16$ и $4/16$ на величины сигналов, соответствующих элементов. На рис. 2 показано, что в окно фильтра попали три помехи. Все они будут отфильтрованы, так как приводятся к центральной ячейке малыми весами и дадут результат ниже порогового уровня. Однако применение оконных фильтров всех типов приводит к размыванию и нивелированию изображения стоп, т. е. к искажению цветового отображения. Уменьшения искажений можно добиться, подбирая веса, например, увеличив вес центрального элемента и понизив веса периферийных.

Располагая массивом давлений, можно получить много важной дополнительной информации, например, о распределении давления в определенном сечении.

Важную информацию об опорнодвигательном аппарате дают исследования способности сохранять равновесие – режим стабильности (статостатистики). Обычно эти исследования бывают достаточно длительными. Самым простым является наблюдение за перемещением проекции ОЦМ. Его координаты определяются на основании равенства моментов масс и реакций, т. е. давлений, относительно осей координат:

$$X_{ОЦМ} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i X_i}{\sum_{i=1}^N P_i}; \quad Y_{ОЦМ} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i Y_i}{\sum_{i=1}^N P_i},$$

где N – количество элементов МИП.

О способности сохранять равновесие говорят габариты области, в пределах которой перемещается ОЦМ. Однако более тонкую структуру перемещений ОЦМ можно получить, определив распределение его плотности вероятности. Для этого требуется большое количество циклов сканирования. Представим область дрейфа ОЦМ прямоугольником и разобьем ее на 25 элементов (5×5). Примем среднюю величину попаданий ОЦМ в этот элемент равным 20 (что, вообще говоря, немного с точки зрения критерия достаточности Стьюдента). Тогда количество циклов сканирования должно быть равно 500, а с учетом повторного сканирования оно может быть в два раза больше. Отсюда следует, что время исследования будет очень большим 10–20 мин. Не каждый пациент выдержит такое долгое стояние на ногах, особенно дети, подростки, инвалиды, больные сколиозом и др.

Для уменьшения этого времени в ряде случаев можно значительно сократить количество циклов. Другим эффективным способом является сокращение рабочего поля. Поле МИП рассчитано на очень большие размеры стоп и в большинстве случаев будет избыточным. Это дает возможность сократить размеры поля сканирования до габаритов изображения стоп. Для этого в начале сканирования (или после 2–3 циклов для фильтрации помех) определяются габариты изображения стоп и затем производится переустановка начальных и конечных координат сканирования. Такую возможность дает применение счетчиков с предустановкой, которые используются для управления коммутаторами матрицы элементов МИП. Значения координат i_{\min}, i_{\max} и j_{\min}, j_{\max} , габаритов изображения преобразуются в 16-ричный код, выводятся в аппаратный блок и загружаются в счетчики. Выигрыш во времени равен примерно отношению общей площади поля МИП (945) к площади, ограниченной габаритами изображения стоп. Особенно заметным он будет при исследовании детей и подростков. Ввиду существенного уменьшения времени цикла сканирования появляется возможность выявлять более высокочастотные колебания ОЦМ.

Список литературы: 1. Измерительная система для определения распределения давления на опорную поверхность стопы / Мителева З.М., Карпинский М.Ю., Карпинская Е.Д., Конашков А.Г. // "Биомеханика на защите жизни и здоровья человека": Материалы конф. Н. Новгород, 1992. Т. 2. 189 с.

Поступила в редколлегию 26.11.2000

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Аль Сади** – аспирант Харьковского государственного университета радиоэлектроники (ХТУРЭ)
Бар Борис – аспирант Национального аэрокосмического университета (ХАИ), гражданин Израиля
Богданов Герман Федорович – канд. техн. наук, доцент, Харьковский военный университет
Волк Максим Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель ХТУРЭ
Гребенник Василий Анатольевич – аспирант ХТУРЭ
Дюбко Геннадий Федорович – канд. техн. наук, проф. ХТУРЭ
Ерохин Андрей Леонидович – канд. техн. наук, доцент Харьковский университет внутренних дел (ХУВД)
Жемчужкина Татьяна Владимировна – аспирант ХТУРЭ
Зима Иван Иванович – доктор техн. наук, ст. научн. сотр., Харьковский военный университет
Карпинский Михаил Юрьевич – науч. сотр. Института патологии позвоночника и суставов им. М.И. Ситенко АМН Украины
Качер Владимир Семенович – аспирант Института прикладных проблем механики и математики
Ковалев Сергей Александрович – аспирант ХТУРЭ
Колесников Дмитрий Олегович – аспирант ХТУРЭ
Кузьменко Виктор Михайлович – канд. техн. наук, проф. ХТУРЭ
Кучеренко Евгений Иванович – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
Лапта Сергей Иванович – канд. физ.-мат. наук, доцент ХТУРЭ
Лапта Станислав Сергеевич – инспектор учетно-регистрационной статистической обработки оперативной информации Фрунзенского РОХГУУМВД Украины
Левыкин Виктор Макарович – д-р техн. наук, проф. ХТУРЭ
Ляшенко Вячеслав Викторович – ст. науч. сотр. ХТУРЭ
Матейченко Виктор Валентинович – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
Ненько Леонид Федорович – аспирант ХТУРЭ
Неофитная Татьяна Михайловна – аспирант ХТУРЭ
Остроухов Владимир Денисович – канд. техн. наук, проф. ХТУРЭ
Петрова Роксана Владимовна – инженер ХТУРЭ
Полонский Александр Дмитриевич – канд. техн. наук, доцент Сумского государственного университета
Пославский Сергей Александрович – канд. физ.-мат. наук, доцент Харьковского национального университета
Самофалов Павел Леонидович – аспирант ХТУРЭ
Семененко Михаил Васильевич – инженер ПО “Монолит”
Сироджа Игорь Борисович – д-р техн. наук, профессор Национального аэрокосмического университета (ХАИ)
Сироджа Игорь Игоревич – аспирант Национального аэрокосмического университета (ХАИ)
Тимофеев Владимир Александрович – ст. науч. сотр. ХТУРЭ
Удовенко Сергей Григорьевич – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
Цибульский Андрей Анатольевич – аспирант ХТУРЭ
Чалый Сергей Федорович – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
Чередников Павел Ильич – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
Чикина Валентина Алексеевна – канд. техн. наук, ведущий науч. сотр. ХТУРЭ
Шабанов-Кушнаренко Юрий Петрович – доктор техн. наук, профессор ХТУРЭ
Якимова Наталья Анатольевна – ассистент ХТУРЭ

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сироджа И.Б., Сироджа И.И., Бар Б.</i>	
МОДЕЛИ И ФОРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ МАШИННОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНЫМИ КВАНТАМИ ЗНАНИЙ	3
<i>Колесников Д.О., Пославский С.А., Шабанов-Кушнаренко Ю.П.</i>	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ	9
<i>Чикина В.А.</i>	
МАШИННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИЗ ТЕКСТА (на материале русского языка)	19
<i>Дюбко Г.Ф., Самофалов П.Л.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ТАБЛИЦАХ РЕШЕНИЙ	26
<i>Зима И.И., Богданов Г.Ф.</i>	
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В БИОЭНЕРГИЮ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА	34
<i>Левыкин В.М., Чалый С.Ф.</i>	
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ	38
<i>Волк М.А., Матейченко В.В., Удовенко С.Г.</i>	
ОБ УПОРЯДОЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ	40
<i>Ерохин А.Л.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ	45
<i>Латта С.И., Латта С.С.</i>	
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРОРАЛЬНОГО ГЛЮКОЗОТОЛЕРАНТНОГО ТЕСТА	52
<i>Цибульский А.А., Чередников П.И.</i>	
ПОСТРОЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	58
<i>Ляшенко В.В.</i>	
МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	63
<i>Кузьменко В.М., Ненько Л.Ф.</i>	
МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИДЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА	67
<i>Гребинник В.А.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУРНЫХ ЗНАНИЙ В ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ. УНИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛОВ.	73
<i>Неофитная Т.М.</i>	
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОНЯТИЙНЫХ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	77
<i>Полонский А.Д.</i>	
ОБ ИНВАРИАНТНОЙ АЛГЕБРЕ РАНГОВЫХ ПРЕДИКАТОВ	83
<i>Ковалев С.А.</i>	
ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПАРАДИГМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	89
<i>Кучеренко Е.И.</i>	
О ПОЛНОТЕ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	97
<i>Аль Сади Ф.М., Петрова Р.В., Тимофеев В.А.</i>	
АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕННЫХ ПОМЕХ	103

<i>Жемчужкина Т.В.</i>	
<i>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА СЕКРЕЦИИ ИНСУЛИНА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗОЙ</i>	<i>108</i>
<i>Якимова Н.А.</i>	
<i>ПРОСТОЕ СЛОВСОЧЕТАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА КАК ФОРМУЛА ЛОГИЧЕСКОЙ АЛГЕБРЫ</i>	<i>111</i>
<i>Качер В.С.</i>	
<i>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОНЕЧНОСТЬ С ПРОТЕЗОМ ГОЛЕНИ</i>	<i>116</i>
<i>Карпинский М.Ю., Остроухов В.Д., Семененко М.В.</i>	
<i>КОРРЕКЦИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ</i>	<i>120</i>

CONTENTS

<i>Sirodzhha I.B, Sirodzhha I.I., Bar B.</i> <i>MODELS AND FORMAL PROCEDURES OF MACHINE MANIPULATING BY KNOWLEDGES PROBABLE QUANTUMS</i>	3
<i>Kolesnikov D.O, Poslavsky S.A., Shabanov-Kushnarenko Y.P.</i> <i>IDENTIFICATION OF THE INITIAL LOGICAL CONCEPTS</i>	9
<i>Chikina V.</i> <i>COMPUTER SENTENCE SELECTION FROM THE TEXT (ON THE RUSSIAN LANGUAGE MATERIAL)</i>	19
<i>Dubko G. F., Samofalov P. L.</i> <i>FORMATING OF LANGUAGE FACILITIES FOR THE REPRESENTATION OF INFORMATION IN DECISION TABLES</i>	26
<i>Zima I.I., Bogdanov G.F.</i> <i>GEOMAGNETIC FIELD ENERGY CONVERSION INTO BIOENERGY ON THE OXYGEN MAGNETIC TRANSPORT BASIS</i>	34
<i>Levykin V.M., Chaliy S.F.</i> <i>FEATURES OF COMPLEX INFORMATION SYSTEMS SIMULATION ON THE BASIS OF GENETIC ALGORITHMS</i>	38
<i>Volk M.A., V.V. Matejchenko V.V., Udovenko S.G.</i> <i>ABOUT ORDERING OF LOCAL INTELLECTUAL SPACES ELEMENTS</i>	40
<i>Yerokhin A.</i> <i>RISE OF ELECTRICAL NETWORKS CONTROL EFFICIENCY</i>	45
<i>Lapta S.I., Lapta S.S.</i> <i>FUNCTIONAL-PHENOMENOLOGICAL MODEL OF ORAL GLUCOSE TOLERANCE TEST</i>	52
<i>Thsibulski A.A., Cherednikov P.I.</i> <i>CONSTRUCTION OF PARAMETRIC ZONE MODEL OF NEURON NETWORKS UNITS</i>	58
<i>Kuzmenko V.M., Nenko L.F.</i> <i>METHOD OF COMPLEX SYSTEMS SIMULATION MODELING BAED ON THE IDEOGRAPH APPROACH</i>	62
<i>Grebinnik V.A.</i> <i>PROCEDURE KNOWLEDGE USE IN LOGICAL KNOWLEDGE REPRESENTATION MODEL. UNIFICATION OF FUNCTIONALS</i>	73
<i>Neophitnaya T.M.</i> <i>REPRESENTATION OF THE CONCEPTUAL KNOWLEDGE IN THE INTELLECTUAL SYSTEM OF THE ENVIRONMENT STATE ECOLOGICAL EXAMINATION</i>	77
<i>Polonsky A.D.</i> <i>ON INVARIABLE ALGEBRA OF RANK PREDICATES</i>	83
<i>Kovalev S.A.</i> <i>THE MAIN FEATURES OF THE OBJECT – ORIENTED PROGRAMMING PARADIGM</i>	89
<i>Kucherenko E.I.</i> <i>ABOUT THE ACCEPTED DECISIONS COMPLETENESS IN FUZZY CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL OBJECTS FUNCTIONING</i>	97
<i>Al Sade F.M., Petrova R.V., Timofeyev V.A.</i> <i>ALGORITHMS FOR REGRESSION MODELS NONSTATIONARY PARAMETER ESTIMATION OF WITH OF BOUNDED NOISE</i>	103
<i>Zhemchuzhkina T.V.</i> <i>MATHEMATICAL MODEL OF PANCREAS INSULIN SECRETION MECHANISM</i>	108
<i>Yakimova N.A.</i> <i>SIMPLE WORD-COMBINATION OF A NATURAL LANGUAGE AS A LOGICAL ALGEBRA FORMULA</i>	111

Kacher V.S.

*MATHEMETICAL MODELING AND ANALYSIS OF FORCES, ACTING
ON THE LIMB WITH AN ARTIFICIAL SHANK..... 116*

Karpinsky M.Yu., Ostroukhov V.D., Semenenko M.V.

*DATA CORRECTION AND PROCESSION IN THE ORTHOPEDIC COMPLEX
WITH A MULTI-ELEMENT INDUCTIVE CONVERTER 120*

УДК 681.324

Модели и формальные процедуры машинного манипулирования вероятными квантами знаний /
И.Б. Сироджа, И.И. Сироджа, Б. Бар // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 3-8.

Разработаны математические модели и процедуры машинной алгебры для преобразования вероятных квантов знаний (νk -знаний), а также сформулированы и доказаны соответствующие утверждения, обосновывающие правомерность использования предложенных формальных средств для знаниеориентированного принятия решений в условиях вероятной неопределенности.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.324

Моделі та формальні процедури машиного маніпулювання імовірними квантами знань /
І.Б. Сіроджа, І.І. Сіроджа, Б. Бар // Проблеми біоніки. 2000. Вып. 52. С. 3-8.

Розроблено математичні моделі та процедури машинної алгебри для перетворень імовірних квантів знань (νk -знань), а також сформульовано і доведено відповідні ствердження, які обґрунтовують правомірність використання запропонованих формальних заходів для знанняорієнтованого прийняття рішень в умовах імовірної невизначеності.

Бібліогр.: 3 назви.

UDC 681.324

Models and formal procedures of machine manipulating by knowledges probable quantums
/ I.B. Sirodza, I.I. Sirodza, B. Bar // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52 P. 3-8.

Mathematical model and machine algebra procedures for the knowledge probable quantums transformation are developed, the corresponding claims, justifying lawfulness of using the offered formal means for knowledge - orientec decision making in conditions of probable uncertainty, are formulated and proved.

Ref. : 3 titles.

УДК 519.7

Идентификация начальных логических понятий / Д. О. Колесников, С. А. Пославский, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 9-18.

Предпринята попытка формального описания исходных понятий логики, которыми пользуется математик в своей работе. С этой целью на языке алгебры подстановочных операций дана аксиоматическая характеристика понятий равенства элементов, декартова произведения множеств, принадлежности элемента множеству операций объединения, пересечения и дополнения множеств, равенства множеств, связи отображений с отношениями.

Библиогр.: 8 назв.

УДК519.7

Идентифікація начальних логічних понять / Д.О. Колесников, С.О. Пославський. Ю.П Шабанов-Кушнаренко // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 49. С. 9-18.

Прийнята спроба формального описання начальних понять логіки, якими користується математик у своїй роботі. З цією метою на мові алгебри підстановочних операцій дається аксіоматична характеристика поняття рівності елементів, декартового перемноження множин, належності елемента множині, операцій об'єднання пересічення і доповнення множин, рівності множин, зв'язку відображень з відношеннями.

Бібліогр.: 8 назв.

UDC 519.7

Identification of the initial logical conceptis / D.O. Kolesnikov, S.A. Poslavsky,
U.P. Shabanov-Kushnarenko // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 9-18.

For this purpose there is given the axiomatic characteristics of the concepts of the elements equality, Cartesiar product of sets, the element belonging to the set, join operations, intersection and complement of sets, equality of sets connection of mapping with relations is given in the permutational operations algebraic language.

Ref.: 8 items.

УДК 519.7

Машинное выделение предложения из текста (на материале русского языка) / В.А. Чикина

// Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 19-25.

Формализованы лингвистические процедуры выделения предложения из произвольных текстов на русском языке. На их базе разработаны алгоритмы, в основе которых лежат решающие правила, использующие формальные признаки. Результат работы программы на базе предложенных алгоритмов составил 3% ошибок.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.7

Машинне виділення речення з тексту (на матеріалі російської мови) / В.О. Чікіна

// Проблеми біоніки. 2000. Вип.52.С. 19-25.

Формалізовані лінгвістичні процедури виділення речення з довільних текстів на російській мові. На їх базі розроблені алгоритми, в основі яких полягли вирішальні правила, що використовують тільки формальні ознаки. Результат роботи програми на базі запропонованих алгоритмів становив 3% помилок.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.7

Computer sentence selection from the text (on the Russian language material) / V. Chikina

// Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 19-25.

The algorithms based on the decision rules using only formal signs are developed. The outcome of the program performance based on the offered algorithms is 3% of mistakes in the text.

Fig. 1. Ref.: 4 items.

УДК 519.712

Формирование языковых средств для представления информации в таблицах решений /

Г.Ф. Дюбко, П.Л. Самофалов // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 26-33.

Предложены языки описания условий и действий в таблицах решений с учетом специфики задач формального вывода. Разработаны методика и языковые конструкции для формирования условий и действий на синтаксическом атрибутом дереве. Эти средства и методы могут не только описывать знания в интеллектуальных системах, но и позволяют непосредственную реализацию применения этих знаний.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 519.712

Формування мовних засобів для уявлення інформації в таблицях рішень /

Г.Ф. Дюбко, П.Л. Самофалов // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 26-33.

Запропоновано мови опису умов і дій у таблицях рішень з обліком специфіки задач формального виводу. Розроблено методику і мовні конструкції для формування умов і дій на синтаксичному атрибутом дереві. Ці засоби і методи можуть не тільки описувати знання в інтелектуальних системах, але і дозволяють безпосередню реалізацію застосування цих знань.

Бібліогр.: 2 назви.

UDC 519.712

Formating of language facilities for the representation of information in decision tables /

G.F. Dubko, P.L. Samofalov // Problemy Bioniki 2000. Vol. 52. P. 26-33.

Condition and action classification languages for decision tables with regard for the specific character of formal deduction tasks are proposed. Methods and language constructions for the conditions and actions formation on the syntax attribute trees are developed. These methods and facilities assist not only to describe knowledge in intellectual systems but they also allow to realize directly the knowledge application.

Ref.: 2 items.

УДК 53.01

Преобразование энергии геомагнитного поля в биоэнергию на основе магнитного транспорта кислорода / И.И. Зима, Г.Ф. Богданов // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 34-37.

На основе представлений роторной бионики проанализированы процессы магнитного транспорта кислорода в человеческом организме. Показана возможность аналогичного преобразования энергии с помощью технических решений.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 53.01

Перетворення енергії геомагнітного поля в біоенергію на основі магнітного транспорту кисню /
І.І.Зима, Г.Ф.Богданов // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 34-37.

На підставі уявлень роторної біоніки проаналізовано процеси магнітного транспорту кисню в організмі людини. Показана можливість аналогічного перетворення енергії за допомогою технічних рішень.

Бібліогр.: 3 назви

UDC 53.01

Geomagnetic field energyconversion into bioenergy on the oxygen magnetic transport basis /
I.I.Zima, G.F. Bogdanov // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 34-37.

Oxygen magnetic transport processes taking place in a human body are analyzed on the basis of the rotor bionics concepts. The possibility of a similar energy conversion with technological decisions is demonstrated.

Ref.: 3 items.

УДК 519.711

Особенности моделирования сложных информационных систем на основе генетических алгоритмов /
В.М. Левыкин., С.Ф.Чалый // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 38-39.

Рассмотрены вопросы моделирования сложных информационных систем с помощью эволюционных методов. Приведены особенности функции приспособленности генетического алгоритма при моделировании поведения информационной системы.

Библиогр.:5 назв.

УДК 519.711

Особливості моделювання складних інформаційних систем на основі генетичних алгоритмів /В.М.
Левикін, С.Ф.Чалий // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 38-39..

Розглянуті питання моделювання складних інформаційних систем за допомогою еволюційних методів. Наведені особливості функції придатності генетичного алгоритму при моделюванні поведінки інформаційної системи.

Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.711

Features of complex information systems simulation on the basis of genetic algorithms
/V.M. Levykin., S.F. Chaliy // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 38-39.

The problems of simulation of complex information systems on the basis of evolutionary methods are considered. The features of a genetic algorithm fitness-function when simulating an information system behaviors.

Ref.:5 items.

УДК 519.7

Об упорядочении элементов локальных интеллектуальных пространств

/ М.А. Волк, В.В. Матейченко, С.Г. Удовенко // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 40-44.

Решена задача формализации описания интеллектуальных продуктов. В качестве одного из возможных решений предложено понятие локальных интеллектуальных пространств (ЛИП), в котором базовыми являются концептуальная, гносеологическая и семиотическая оси. Рассмотрены составляющие базовых осей ЛИП и пример использования введенного формального аппарата при идентификации научной статьи.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

УДК 519.7

Про упорядкування елементів локальних інтелектуальних просторів

/ М.А. Волк, В.В. Матейченко, С.Г. Удовенко // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 40-44.

Розглянуто задачу формалізації опису інтелектуальних продуктів. Як приклад одного з можливих рішень запропоновано поняття локальних інтелектуальних просторів (ЛІП), в якому базовими є концептуальна, гносеологічна та семиотична осі. Розглянуто складові базових осей ЛІП і приклад використання формального апарата, який був запропонований, при ідентифікації наукової статті.

Ил. 4. Бібліогр. : 3 назви.

UDC 519.7

About ordering of local intellectual spaces elements / M.A. Volk, V.V. Matejchenko, S.G. Udovenko

// Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52 P. 40-44.

(LIS) is offered as one of the possible solutions, the conceptual, gnociological and semidic axes are the base ones in LIS base axes components and example of the introduced formal apparatus used when identifying the scientific paper are considered.

4 fig. Ref.: 3 items.

УДК 681.5.015

Повышение эффективности управления электрическими сетями / А.Л. Ерохин

// Проблемы бионики. 2000. Вып.52. С. 45-51.

Предложена постановка задачи повышения эффективности управления территориальной информацией в электрических сетях. Намечены пути построения ГИС-систем поддержки принятия решений. Разработка систем поддержки принятия решений при нештатной ситуации позволяет повысить оперативность распознавания аварийного события и скорость устранения аварии.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.3:621.311

Підвищення ефективності управління електричними мережами / А.Л. Єрохін

// Проблеми біоники. 2000. Вип.52. С. 45-51.

Запропоновано постановку задачі підвищення ефективності управління територіальною інформацією в електричних мережах. Накреслено шляхи побудови ГІС-систем підтримки прийняття рішень. Розробка систем підтримки прийняття рішень під час позаштатної ситуації дозволяє підвищити оперативність розпізнавання аварійної події і швидкість усунення аварії.

Іл. 2. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 681.3:621.311

Rise of electrical networks control efficiency / A. L. Yerokhin // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 45-51.

Setting of the problem of rising the territorial information control efficiency in electric networks is offered. The GIS - decision support systems construction paths are directed. Development of the decision-making support systems for abnormal situation allows so increase efficiency of the emergency event recognition and its elimination rate.

2 fig. Refs: 4 items.

УДК 519.95; 612.018

Функционально-феноменологическая модель перорального глюкозотолерантного теста /

С.И. Лапта, С.С. Лапта / Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 52-57.

Предложена новая оригинальная математическая модель перорального глюкозотолерантного теста в виде дифференциально-разностного уравнения 1-го порядка. Она превосходит все известные ранее описания гликемической кривой теста по минимальности и адекватности как в норме, так и при различных отклонениях от нее. Эта модель позволяет ввести количественную дифференцировку нового клинического класса – нарушение толерантности к глюкозе – в последней классификации сахарного диабета Комитетом экспертов по сахарному диабету ВОЗ.

Ил. 2. Библиогр. 13 назв.

УДК 519.95; 612.018

Функціонально-феноменологічна модель перорального глюкозотолерантного тесту /

С.І. Лапта, С.С. Лапта / Проблеми біоники. 2000. Вип. 52. С. 52-57.

Запропоновано нову оригінальну математичну модель перорального глюкозотолерантного тесту у вигляді диференціально-різницевого рівняння 1-го порядку. Вона перевершує всі відомі раніше моделі опису глікемічної кривої тесту за мінімальністю і адекватністю як у нормі, так і в різних випадках відхилення від неї. Ця модель дозволяє ввести кількісну диференцировку нового клінічного класу – порушення толерантності до глюкози в останній класифікації цукрового діабету Комітетом експертів з цукрового діабету ВООЗ.

Іл. 2. Бібліогр. 13 назв.

UDC 519.95; 612.018

Functional-Phenomenological model of oral glucose tolerance test / S.I. Lapta, S.S. Lapta

// Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52 P. 52-57.

A new original mathematical model of oral glucose tolerance test in the form of the first order differential-difference equation is offered. It is superior to all reported hitherto descriptions of the glizamic curve of the test in minimality and adequacy both in the norm and various deviations from it. This model allows to introduce a quantitative differentiation of a new clinical class – impaired glucose tolerance - in the last WHO Study Group Diabetes mellitus classification.

Fig. 2. Ref. 13 items.

УДК 621.375.7

Построение параметрической зонной модели элементов нейронных сетей /

А.А.Цибульский, П.И.Чередников // Проблемы бионики. 2000. Вып.52. С. 58-62.

Предложен принцип построения элементов нейронных сетей на основе параметрической зонной системы. Разработана электрическая управляемая модель нервной клетки. Построена математическая модель, описывающая эволюцию в зонах неустойчивости, колебательные процессы, в которых могут формально сводиться к подобным состояниям биологического нейрона.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.375.7

Побудова параметричної зонної моделі елементів нейронних мереж /

А.А.Цибульський, П.И.Чередніков // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 58-62.

Запропоновано принцип побудови елементів нейронних мереж на підставі параметричної зонної системи. Розроблено електричну керовану модель нервової клітини. Побудовано математичну модель, яка описує еволюцію в зонах нестійкості, коливальні процеси, у яких можуть формально зводитися до подібних станів біологічного нейрона.

Лл. 3. Бібліогр. : 3 назви.

UDC 621.375.7

Construction of parametric zone model of neuron networks units / A.A.Thsibulski, P.I.Cherednikov

// Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 58-62.

The concept of construction of neuron networks units is offered on the basis of the parametric zone system. The electric controlled model of a nervous cell is developed. The mathematical model describing evolution in the zones of instability, where oscillatory processes can be formally reduced to similar states of biological neuron.

3 fig. Ref.: 3 items.

УДК 681.3

Модели и методы в задачах анализа и обработки изображений / В.В. Ляшенко

// Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 63-66.

Рассмотрены модели и методы, используемые в задачах анализа и обработки изображений. Отмечены недостатки классических подходов и преимущества нечетких моделей.

Библиогр.: 11 назв.

УДК 681.3

Моделі та методи у задачах аналізу й обробки зображень / В.В. Ляшенко

// Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 63-66.

Розглянуто моделі та методи, які використовуються в задачах аналізу й обробки зображень. Відзначено недоліки класичних підходів та переваги нечітких моделей.

Бібліогр.: 11 назв.

UDC 681.3

Models and methods in the problems of image analysis and processing / V.V. Lyashenko

// Problemy Bionici. 2000. Vol. 52. P. 63-66.

Models and methods used in the problems of image analyse and processing are considered. The shortages of classical approaches and advantages of fuzzy models are observed.

Ref.: 11 items.

УДК 658.512.22

Метод имитационного моделирования сложных систем на основе идеографического подхода /

В.М. Кузьменко, Л.Ф. Ненько // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 67-72.

Рассмотрена разработка метода и средства имитационного моделирования технологических процессов с дискретным характером производства. В качестве основы метода выбран идеографический подход, что позволило создать программное средство, ориентированное на пользователя-непрограммиста.

Табл.: 2. Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 658.512.22

Метод імітаційного моделювання складних систем на основі ідеографічного підходу /

В.М.Кузьменко, Л.Ф. Ненько // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 67-72.

Розглянуто розробку методу та засобу імітаційного моделювання технологічних процесів з дискретним характером виробництва. За основу методу вибрано ідеографічний підхід, що дозволило створити програмний засіб, який орієнтований на користувача-непрограміста.

Табл.: 2. Ил.: 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 658.512.22

Method of complex systems simulation modeling based on the ideograph approach /

V.M. Kuzmenko, L.F. Nenko // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 67-72.

Development of the method and means of simulation modeling of technological processes with the production discrete nature is considered. The ideographic approach is chosen as the method basis, this allowed to create a software directed to a non-programm used.

Tab. 2. Fig. 2. Ref.: 5 items.

УДК 519.687

Использование процедурных знаний в логической модели представления знаний. Унификация функционалов /

В.А. Гребинник // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 73-76.

Приведены результаты исследований в области логической модели представления знаний. Традиционно данная модель с успехом использовалась для представления декларативных знаний, в частности для описания отношений между концептами предметной области. Представление же процедурных знаний в рамках данной модели не находило полностью адекватных средств. В своей работе автор описал подход к решению данной проблемы, основанный на более широком использовании семантики используемых в предикатах функционалов и модификации процесса унификации в ходе логического вывода при помощи метода резолюций. Автором также предложены правила унификации функционалов с использованием их семантики и механизма условных символов.

Библиогр.:4 назв.

УДК 519.687

Використання процедурних знань у логічній моделі подання знань. Уніфікація функціоналів /

В.А. Гребінник // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 73-76.

Наведено результати досліджень на терені логічної моделі подання знань. Традиційно ця модель з успіхом використовувалася для подання декларативних знань, зокрема для опису відносин між концептами предметної області. Подання процедурних знань у рамках цієї моделі не знаходило повністю адекватних засобів. У своїй праці автор надав опис підходу до вирішення цієї проблеми, який базується на більш широкому використанні семантики предикатних функціоналів та модифікації процесу уніфікації під час логічного виводу за допомогою методу резолюцій. Автором також запропоновані правила уніфікації функціоналів з використанням їх семантики та механізму умовних символів.

Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.687

Procedure knowledge use in logical knowledge representation model. Unification of functionals /

V.A. Grebinnik // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 73-76.

Results of investigations in the field of knowledge representation logical model are reported. Traditionally the given model was advantageously used to represent the declarative knowledge, specifically to describe relations between the data domain concepts. But the procedure knowledge presentation within the framework of the given model didn't find completely adequate means. In this paper the author described the approach to the given problem solution based on more wide functionals semantics used in the predicates and unification process modification with the resolution method in the functionals with their semantics and conditional symbols mechanism employment.

Ref.: 4 items.

УДК 519.7

Представление понятийных знаний в интеллектуальной системе экологической экспертизы состояния окружающей среды / Т. М. Неофитная // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 77-82.

В статье рассмотрена модель представления понятийных знаний в интеллектуальной системе экологической экспертизы состояния окружающей среды. В качестве модели представления понятийных знаний используется сеть фреймов. Выбор данной модели обоснован с учетом когнитивных структур мышления человека. Описаны характерные особенности предложенной модели.

Ил. 1. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.7

Представлення понятійних знань в інтелектуальній системі екологічної експертизи навколишнього середовища / Т. М. Неофітна // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 77-82.

У статті розглянуто модель представлення понятійних знань в інтелектуальній системі екологічної експертизи стану навколишнього середовища. Обґрунтовано вибір фреймової мережі як моделі представлення знань з урахуванням когнітивних структур мислення людини. Описано характерні особливості запропонованої моделі.

Іл. 1. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.7

Representation of the conceptual knowledfe in the intellectual system of the environment state ecological examination / T.M. Neophitnaya // Broblemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 77-82.

The conseptual knowledge representation model in the intellectual system of the environment state ecological examination is considered. The frame network is used as a model of the conceptual knowledge representation. The choice of the given model is justified with regard to the cognitive structures of the human thinking. The properties of the offered model are descrifed.

1 fig. ref.: 10 items.

УДК 681.5

Об инвариантной алгебре ранговых предикатов / А.Д. Полонский

// Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 83-88.

На основе функций скалярных произведений векторов и теории ранговых процедур построена инвариантная алгебра ранговых предикатов (ИАРП). В рамках теории ИАРП разработаны модели нейроподобных структур (НПС) с кодированием адреса канала рангом. Предложен метод электрического синтеза НПС в элементном базисе ИАРП.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 9 назв.

УДК 681.5

Про інваріантну алгебру рангових прідикатів / А.Д. Полоцький

// Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 83-88.

На підставі функцій скалярних добутків векторів та теорії рангових процедур збудовано інваріантну алгебру рангових прідикатів (ІАРП). В межах теорії ІАРП розроблені моделі нейроподібних структур (НПС) с кодуваннями адреси каналу рангом. Пропонован метод електричного синтезу НПС в елементному базисі ІАРП.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр. 9 назв.

UDC 681.5

On invariable algebra of rank predicates / A. D. Polonsky // Problemy Bionici. 2000. Vol. 52. P. 83-88.

Invariable algebra of rank predicates (IARP) has been formulated on the basis of function of scalar vector products and the theory of rank procedures. Within the theory IARP the models of neurone like structures (NLS) were worked out and channel address was coded by rank. The method of NLS electric synthesis in the elementary basis of IARP is offered.

1 tab. 1 fig. Ref.: 9 items.

УДК 681.3.06

Основные черты объектно-ориентированной парадигмы программирования

/ С.А. Ковалев // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 89-96.

Дано понятие объектно-ориентированной (ОО) парадигмы программирования, рассмотрена краткая история развития ОО методологий и процесса их унификации. Определены основные термины. Упомянуты недостатки ОО подхода на данном этапе.

Табл. 2. Библиогр. 15 назв.

УДК 681.3.06

Характерні риси об'єктно - орієнтовної парадигми програмування / С.О. Ковальов

// Проблеми біоніки.. 2000. Вип. 52. С. 89-96.

Надано поняття об'єктно-орієнтованої (ОО) парадигми програмування, розглянута коротка історія розвитку ОО методологій та процесу їх уніфікації. Подано основні поняття. Зазначено недоліки ОО підходу на даному етапі.

Табл. 2. Бібліогр.: 15 назв.

УДК 681.3.06

The main features of the object – oriented programming paradigm / S.A. Kovalev

// Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. С. 89-96.

The concept of object – oriented programming paradigm was given, a short history of OO methodology and their unification process were considered. Basic terms were defined. The OO approach shortages were mentioned as for now.

2 tab. Ref.: 15 items.

УДК 519.71

О полноте принимаемых решений в нечетких условиях функционирования технологических объектов / Е.И. Кучеренко // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 97-102.

Рассмотрены задачи выявления и устранения неполноты принимаемых решений при реализации сложных процессов управления. Сформулирована постановка задачи, предложен комплекс утверждений, которые определяют формальные условия существования полноты процессов в терминах пространства состояний нечетких сетевых моделей.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.71

До повноти прийняття рішень в нечітких умовах функціонування технологічних об'єктів /

Є.І. Кучеренко // Проблеми біоніки. 2000. Вип.52. С. 97-102.

Розглянуто задачі вияву та усунення неповноти рішень, які приймають, при реалізації складних процесів управління. Сформульовано постановку задачі, запропоновано комплекс тверджень, які визначають формальні умови існування повноти процесів в термінах простору стану нечітких сіткових моделей.

Бібліогр.: 4 назви

UDC 519.71

About the accepted decisions completeness in fuzzy conditions of technological objects functioning /

E.I. Kucherenko // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 97-102.

The problems of revealing and elimination of the accepted decisions incompleteness when realizing complex management processes are considered. Statement of the problem formulated, the complex of claims detining formal conditions of processes completeness existence in terms of space of the fuzzy network models states is offered..

Ref. 4 items.

УДК 681.518.54

Алгоритмы оценивания нестационарных параметров регрессионных моделей при наличии ограниченных помех / Ф.М. Аль Сади, Р.В. Петрова, В.А. Тимофеев //

Проблемы бионики.2000. Вып.51. С.103-107.

Для решения задачи оценивания параметров регрессионной модели при наличии ограниченных помех предложена модификация рекуррентного алгоритма наименьших квадратов с зоной нечувствительности и ограниченной матрицей ковариации. Определены условия сходимости алгоритма и показано, что предлагаемый алгоритм сходится.

Библиогр.: 6 назви.

УДК 681.518.54

Алгоритми оцінки нестационарних параметрів регресійних моделей при наяві обмежених завад /
Ф.М. Аль Саді, Р.В. Петрова, В.А. Тимофіїв // Проблеми біоніки. 2000. Вип.52. С. 103-107.

Для вирішення задачі оцінки параметрів регресійної моделі при наявності обмежених завад запропоновано модифікацію рекуррентного методу найменших квадратів з зоною нечутливості та обмеженою матрицею коваріації. Встановлено умови збіжності алгоритму та показано, що запропонований алгоритм збігається.

Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.518.54

Algorithms for regression models nonstationary parameter estimation of with of bounded noise /

F.M. Al Sade, R.V. Petrova, V.A. Timofeyev // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P.103-107.

Modification of recursive least square algorithm with dead-band for parameter estimation problem of regression model with bounded noise is proposed. Conditions of the algorithm convergence are defined.

Ref.: 6 items.

УДК 57.007/001.57

Математическая модель механизма секреции инсулина поджелудочной железой / Т.В. Жемчужкина // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 108-110.

Рассмотрена математическая модель механизма секреции инсулина поджелудочной железой. Модель представлена дифференциальным уравнением. Параметрическая идентификация была произведена в соответствии с клиническими данными.

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

УДК 57.007/001.57

Математична модель механізму секреції інсуліну підшлунковою залозою / Т.В. Жемчужкіна // Проблеми біоніки. 2000. Вип. 52. С. 108-110.

Розглянуто математичну модель секреції інсуліну підшлунковою залозою. Модель представлена диференціальним рівнянням. Параметрична ідентифікація була виконана відповідно до клінічних даних.

Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 57.007/001.57

Mathematical model of pancreas insulin secretion mechanism / T.V. Zhemchuzhkina

// Problemy Bioniki. 2000. Vol.52. P. 108-110.

The mathematical model of pancreas insulin secretion mechanism is considered. This model is presented by the differential equation. The parametric identification was carried out according to clinical data.

1 fig. Ref.: 8 items.

УДК 519.7

Простое словосочетание естественного языка как формула логической алгебры / Н.А. Якимова

//Проблемы бионики. 2000. Вып.52. С. 111-115.

Показана возможность формализации в любом направлении любого простого словосочетания естественного языка на примере русского.

Библиогр.: 6 назв.

УДК 519.7

Просте словосполучення природної мови як формула логічної алгебри / Н.А. Якімова

// Проблеми біоніки. 2000. Вип.52. С. 111-115.

Показано можливість формалізації в будь-якому напрямку будь-якого словосполучення природної мови на прикладі російської.

Бібліогр.: 6 назви.

UDC 519.7

Simple word-combination of a natural language as a logical algebra formula / N.A. Yakimova

// Problemy Bioniki. 2000. Vol.52. P. 111-115.

The possibility of formalization to any order of any word-combination of a natural language by the example of the Russian language is shown.

Ref.: 6 items.

УДК 519.711.3+617.3

Математическое моделирование и анализ сил, действующих на конечность с протезом голени

/ В.С. Качер // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 116-119.

Описан метод математического моделирования сил, возникающих между гильзой протеза и культей голени в протезе. Приведен оптимизационный алгоритм решения задачи в рамках механики абсолютно твердого тела. В заключении рассмотрены результаты моделирования, которые соответствуют литературным данным.

Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

УДК 19.711.3+617.3

Математичне моделювання та аналіз сил, які діють на протезовану кінцівку з протезом гомілки / В.С. Качер // Проблеми біоніки. 2000. Вып. 52. С. 116-119.

Описано метод математичного моделювання сил, які виникають між гільзою протеза і культьою гомілки в протезі. Доведено оптимізаційний алгоритм розв'язування задачі в межах механіки абсолютно твердого тіла. У висновку розглянуто результати моделювання, що відповідають літературним даним.

Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

UDC 19.711.3+617.3

Mathematical modeling and analysis of forces, acting on the limb with an artificial shank /

V.S. Kacher // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 116-119.

Method of mathematical modeling of forces arising between the prosthetic appliance sleeve and the shank stump is described. The optimization algorithm for solving the problem within the framework of perfectly rigid body mechanics is presented.

5. fig. Ref.: 5 items.

УДК 617.286-073.175

Коррекция и обработка информации в ортопедическом комплексе с многоэлементным индуктивным преобразователем / М.Ю. Карпинский, В.Д. Остроухов, М.В. Семенов // Проблемы бионики. 2000. Вып. 52. С. 120-122.

Рассмотрены методы решения проблемы обработки и коррекции информации в диагностическом комплексе с многоэлементным индуктивным преобразователем, связанные с разбросом характеристик датчиков, их нелинейностью и остаточной деформацией, а также способы повышения скорости обработки данных.

Ил. 2. Библиогр.: 1 назв.

УДК 617.286-073.175

Корекція та обробка інформації в ортопедичному комплексі з багатоелементними індуктивними перетворювачами / М.Ю. Карпінський, В.Д. Остроухов, М.В. Семенов // Проблеми біоніки. 2000, Вып. 52. С. 120-122.

Розглянуто методи рішення проблем обробки та корекції інформації в діагностичному комплексі з багатоелементним індуктивним перетворювачем, пов'язані з розкидом характеристик датчиків, їх нелінійністю та залишковою деформацією, а також засоби підвищення швидкості обробки даних.

Ил. 2. Библиогр.: 1 назва.

UDC 617.286-073.175

Data correction and processing in the orthopedic complex with a multi-element inductive converter /

M.Yu. Karpinsky, V.D. Ostroukhov, M.V. Semenko // Problemy Bioniki. 2000. Vol. 52. P. 120-122.

In paper the methods of solution of a problem of handling and correction of the information in a diagnostic complex with a multiple inductive converter, bound with a scatter of performances of transmitters, their nonlinearity and permanent deformation, and also ways of a heightening of data processing rate are surveyed.

2. fig. Ref.: 1 items.