

007(06)
п 78

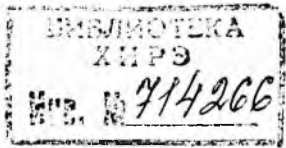
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. М. К. ЯНГЕЛЯ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник

Основан в 1968 г.

ВЫПУСК 45



2001

Харьков
Издательство «Основа» при Харьковском
государственном университете
1990

СОДЕРЖАНИЕ

Осыка А. Ф., Кравец О. А. О формализации семантики словосочетаний с инструментальным значением	3
Кольцов В. П., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О содержательной интерпретации алгебры идей	10
Бондаренко М. Ф., Левицкий А. С., Лихачева О. А. О математическом моделировании семантики производных с модификационными значениями	17
Бондаренко М. Ф., Левицкий А. С., Лихачева О. А. Использование лингвистического регистра при решении задачи идентификации морфемы	22
Коноплянко З. Д. Принципы построения многозначных систем искусственного интеллекта. Сообщение I.	27
Халилов А. И., Калантаров Г. А. Технологические аспекты создания вычислительной среды коллективного пользования с элементами искусственного интеллекта	35
Шабанов-Кушнарченко С. Ю., Шубин И. Ю., Явтушенко Е. В. Об алгоритме выражения отношения толерантности через отношение эквивалентности	43
Макуха В. А., Фролов Г. Д. Об одном подходе к распознаванию дискретной клипированной речи	45
Красникова Л. И. Автоматизация оценки состояния и логика функциональных систем	52
Ловицкий В. А., Пономарев Ю. В. Способ представления знаний о предметной области в одном из классов интеллектуальных систем. Сообщение 2	59
Войнов В. К., Литвиненко И. В., Орач Ю. В. О роли и особенностях организации семантических знаний в диалоговых автоматизированных обучающих системах по иностранному языку	66
Кувенева А. П., Богданова Л. Г., Кучеренко М. Е. Денотат—модуль вербального сообщения	70
Тимохин В. И., Найденова К. А., Чебоксарова Т. Н. Использование свойств естественных рассуждений при создании систем, основанных на знаниях	76
Яценко Н. Ю., Гриневич И. Н. Об одном подходе к построению формальной модели русской морфологии	81
Миронов Г. А., Сагдеева Р. З. Реализация реляционного интерфейса объектно-характеристической модели	88
Сагдеева Р. З. Об отображении ОХТ-модели в реляционную	93
Шляхов В. В., Наталуха Ю. В., Герасин С. Н., Сарнавская Н. Н. Линейные предикаты на выпуклом теле гильбертовых пространств	99
Четвериков Г. Г., Иванова А. Д., Карпенко Н. Ю., Иванов В. А. Организация диалога в многоуровневой системе управления производством	108
Радиевский А. Е. Математическая модель деятельности человека-оператора в системе компенсаторного слежения	112
Ярошенко А. А., Коновалова Л. М., Красина Ф. А. Некоторые аспекты применения метода структурно-временного анализа деятельности оператора	116
Семенец В. В., Фомин Г. Г. Моделирование процесса трассировки соединений в канале	123
Сыромятников В. П. Оценка надежности функционирования программно-обеспечения сложных автоматизированных систем	129
Пыльцин А. А. Исследование воздействия полезного и вредного шума на качество усвоения учебной иноязычной речевой информации в монофоническом и стереофоническом режимах	135
Дзюндзюк Б. В., Степанова Т. И. Математическая модель влияния комплекса изменяющихся во времени факторов среды на функциональное состояние оператора	142

О ФОРМАЛИЗАЦИИ СЕМАНТИКИ СЛОВСОЧЕТАНИЙ С ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ

Машинная обработка информации на естественном языке требует анализа семантики сообщения. Для этого необходимо определить значение единиц сообщения. Вопросы о взаимодействии значений слов между собой, а также со знаниями о внешнем мире при определении значения сообщения, его элементов, в частности, словосочетаний минимальной длины исследованы недостаточно. В данной работе рассматриваются некоторые аспекты этой проблемы на примере двухсловных сочетаний с инструментальным значением.

Класс инструментальности включает в себя существительные, выражающие как инструмент, так и средство действия. Однако имеется четкое различие между этими двумя подгруппами существительных одного класса. Использование некоторого средства приводит к его расходованию, в то время как применение инструмента оставляет его в первоначальном состоянии [1]. Здесь рассмотрим только словосочетания со значением «действие + инструмент действия». Существительные-инструменты могут заполнять валентность инструментальности при глаголе разнообразными способами. Поэтому словосочетания «действие + инструмент действия» могут иметь такую структуру [2]: $\Gamma + C_{им.}$; $\Gamma + из + C_{род.}$; $\Gamma + с + C_{род.}$; $\Gamma + в + C_{вин.}$; $\Gamma + на + C_{вин.}$; $\Gamma + C_{тв.}$; $\Gamma + на + C_{пр.}$, где Γ — глагол конкретного действия или акциональный глагол; $C_i (i = \{им., род., вин., тв., пр.\})$ — существительное, выражающее инструмент действия, в соответствующем падеже.

Обычно значения слов классифицируют по некоторому набору априорных признаков. В результате такой классификации, например, среди глаголов выделяются группы глаголов движения, бытия, трудовой деятельности, сознания и др. [3]. Такая группировка может быть полезна в некоторых системах обработки информации на естественном языке. Однако она не позволяет отразить реальную сложность взаимосвязей в лексической системе языка. При этом нельзя рассчитывать на полноту и однозначность такого разбиения.

Вместе с тем из всей совокупности глаголов русского языка класс глаголов трудовой деятельности выделяется довольно четко. Существительные со значением «инструмент действия» чаще всего сочетаются с глаголами лексико-семантической группы трудовой деятельности. Остановимся на анализе таких словосочетаний.

Класс «инструмент действия» может иметь более частные варианты: отчуждаемый инструмент (рубить топором, резать ножницами), неотчуждаемый инструмент (хлопнуть ладонью, ударить

кулаком), окказиональный инструмент (копать ложкой, забивать табуреткой) [4]. Для рассмотрения у глаголов валентности инструментальности особый интерес представляет первый вариант, так как лишь существительные этой группы могут быть охарактеризованы как «орудия, предназначенные для воздействия на данный объект». Существительные этой лексико-семантической группы тесно связаны по значению с глаголом, а идея действия — с представлением о любом орудии, инструменте [5].

Предметы и их свойства неразрывно связаны между собой. Если предметы проявляют себя через свои свойства, то свойства, в свою очередь, наблюдаются у предметов, благодаря которым они становятся явными. В частности, действие определяется по орудью, с помощью которого оно производится, и, наоборот, орудие может быть определено по действию, для совершения которого оно предназначено [6]. Поэтому большинство глаголов трудовой деятельности имеют свои, более или менее жестко прикрепленные к ним, инструменты. Например, копать лопатой, пилить пилой, забивать молотком. Но это не означает, что указанные действия нельзя выполнять при помощи другого инструмента. Более того, существуют глаголы для выражения таких действий, выполнять которое можно различными инструментами. Например: резать ножом (дерево), резать ножницами (бумагу), резать проволокой (масло). Применение того или иного инструмента в этом случае зависит от объекта действия. Можно привести также примеры, когда использование определенного инструмента при выполнении действия не зависит ни от объекта действия, ни от некоторых других факторов: брить бритвой, брить ножом.

Для исследования семантики словосочетаний указанного типа будем представлять значения входящих в него слов с помощью некоторого формального аппарата. Наиболее наглядным способом представления значений языковых единиц являются семантические сети и связанный с ними математический аппарат. Семантическая сеть для каждого слова должна содержать признаки, существенные для некоторого класса слов.

Рассмотрим построение семантической сети словосочетания как средства формализации семантики двухсловного сочетания «колоть иглой». Отметим, что глагол «колоть» многозначен и может принимать следующие значения: «раздроблять, рассекать, делить на куски» и «касаться чем-нибудь острым, причиняя боль» [7]. В данном примере принимается во внимание лишь второе значение анализируемого глагола.

Семантические сети для каждой компоненты словосочетания представлены в виде графов G_1 и G_2 на рис. 1, 2 соответственно. Вершины графов имеют следующие значения (каждая цифра соответствует номеру вершины): 1 — колоть, 2 — предмет; 3 — небольшой для субъекта действия, 4 — твердый, 5 — острый конец, 6 — блестящий, 7 — игла.

Вес каждой дуги $z_i (i=1, 5)$ учитывает тип связи между вершинами: z_1 — иметь инструментом, z_2 — иметь размер, z_3 — иметь признак, z_4 — иметь частью, z_5 — быть элементом класса.

Таким образом, графы G_1 и G_2 содержат наборы признаков, присутствующих глаголу «колоть» и существительному-инструменту «игла» соответственно. Безусловно, граф G_2 мог бы иметь другой вид,

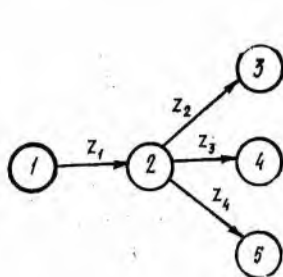


Рис. 1. Граф G_1

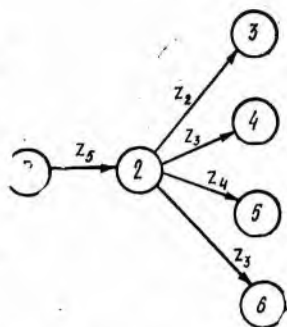


Рис. 2. Граф G_2

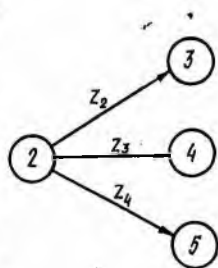


Рис. 3. Граф G_3

так как анализируемое существительное обладает еще рядом признаков. Однако эти признаки опущены, поскольку они не являются существенными для выполнения действия «колоть». При построении семантической сети глагола основная задача заключалась в выделении совокупности признаков, которыми должен обладать инструмент для совершения данного действия.

Семантическую сеть, передающую значение всего словосочетания «колоть иглой», можно интерпретировать как результат некоторых операций над графами G_1 и G_2 , соответствующих словоформам. На первом шаге строится граф G_3 пересечения графов G_1 и G_2 .

Граф G_1 задан множеством вершин $V(G_1)$ и множеством дуг $E(G_1)$: $V(G_1) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$; $E(G_1) = \{(1z_1 2), (2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5)\}$. Граф G_2 имеет: $V(G_2) = \{2, 3, 4, 5, 6, 7\}$; $E(G_2) = \{(7z_5 2), (2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5), (2z_3 6)\}$.

Тогда граф G_3 будет иметь следующие множества вершин и дуг: $V(G_3) = V(G_1 \cap G_2) = V(G_1) \cap V(G_2) = \{2, 3, 4, 5\}$; $E(G_3) = E(G_1 \cap G_2) = E(G_1) \cap E(G_2) = \{(2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5)\}$.

Этот граф изображен на рис. 3. Заметим, что построенный таким образом граф пересечения может быть несвязным, т. е. иметь изолированные вершины. Такие вершины отбрасываются и в выполнении последующих действий не участвуют.

На языке семантики G_3 трактуется как графическое представление множества признаков, общих для компонент исходного соче-

тания слов. Однако располагая лишь таким графом, нельзя проследить связь данной совокупности признаков непосредственно с каждым словом словосочетания. Для слияния значений двух слов и образования осмысленного словосочетания необходимо восстановить пути на графах, берущие начало в G_1 и G_2 и заходящие в G_3 . После присоединения полученных последовательностей вершин и дуг к графу G_3 получаем графы G_4 и G_5 соответственно. При этом:

$$V(G_4) = \{1, 2, 3, 4, 5\}; E(G_4) = \{(1z_1 2), (2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5)\};$$

$$V(G_5) = \{2, 3, 4, 5, 7\}; E(G_5) = \{(7z_5 2), (2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5)\}.$$

Объединенно-пересеченный граф G_6 , заданный множеством вершин $V(G_6)$ и множеством дуг $E(G_6)$, отражающий смысл исходного словосочетания «колоть иглой», строится путем объединения графов G_4 и G_5 :

$$V(G_6) = V(G_4 \cup G_5) = V(G_4) \cup V(G_5) = \{1, 2, 3, 4, 5, 7\}; E(G_6) = E(G_4 \cup G_5) = E(G_4) \cup E(G_5) = \{(1z_1 2), (2z_2 3), (2z_3 4), (2z_4 5), (7z_5 2)\}.$$

Результирующий граф изображен на рис. 4.

Применение семантических сетей для представления значений слов и словосочетаний требует создания специальных процедур для решения каждой отдельной задачи на семантических сетях,

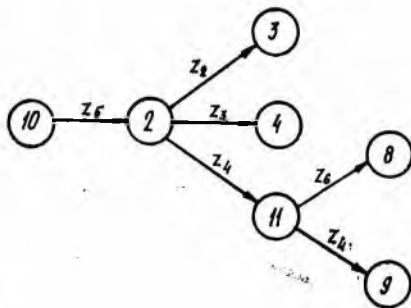
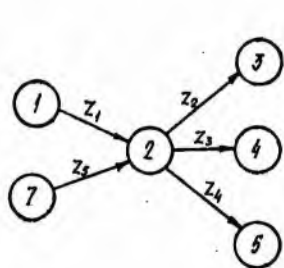


Рис. 4. Результирующий граф

Рис. 5. Граф G'_2

таких, как определение смежности или достижимости вершин в сети, нахождение всех путей, связывающих вершины, и т. п. Однако это не всегда удобно для использования в машинных системах обработки естественного языка универсального назначения. Желательно использовать такой формальный аппарат для представления семантики, который позволил бы решать все эти задачи еди-

ным способом. В качестве такого формального аппарата удобно использовать алгебру конечных предикатов [8].

Представим полученные результаты в терминах алгебры конечных предикатов. Пусть X — множество всех вершин графов G_1 и G_2 , из которых выходит хотя бы одна дуга, Y — множество всех вершин этих графов, в которые входит хотя бы одна дуга, и Z — множество весов дуг этих графов. Для данного примера эти три множества содержат следующие элементы: $x \in X = \{1, 2, 7\}$; $y \in Y = \{2, 3, 4, 5, 6\}$; $z \in Z = \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

Каждому из графов G_i , полученных в результате выполнения описанных действий, поставим в соответствие предикат

$$P_i(x, y, z) \quad (i = \overline{1, 6}). \quad \text{Тогда } P_1(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4; \\ P_2(x, y, z) = x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4 \vee x^2 y^6 z^3.$$

Пересечение графов G_1 и G_2 в терминах алгебры конечных предикатов соответствует конъюнкции предикатов $P_1(x, y, z)$ и $P_2(x, y, z)$:

$$P_3(x, y, z) = P_1(x, y, z) \cdot P_2(x, y, z) = (x^1 y^2 z^1 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4) \cdot (x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4 \vee x^2 y^6 z^3) = \\ = x^1 y^2 z^1 x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^4 z^3 x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^5 z^4 x^7 y^2 z^5 \vee \\ \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^3 z^2 \vee \\ \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^4 z^3 \vee \\ \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^5 z^4 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^5 z^4 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^5 z^4 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^5 z^4 \vee \\ \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^6 z^3 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^6 z^3 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^6 z^3 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^6 z^3.$$

Используя тождества алгебры конечных предикатов, получаем

$$P_3(x, y, z) = x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4. \quad (1)$$

Построим предикаты $P_4(x, y, z)$ и $P_5(x, y, z)$ для описания графов G_4 и G_5 соответственно:

$$P_4(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4; \quad (2)$$

$$P_5(x, y, z) = x^7 y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4. \quad (3)$$

С использованием формулы (1) равенства (2) и (3) упрощаются:

$$P_4(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee P_3(x, y, z); \quad (4)$$

$$P_5(x, y, z) = x^7 y^2 z^5 \vee P_3(x, y, z). \quad (5)$$

Образовав дизъюнкцию предикатов $P_4(x, y, z)$ и $P_5(x, y, z)$, получим предикат $P_6(x, y, z)$, который описывает объединенно-пересеченный граф G_6 , отражающий смысл словосочетания «колоть иглой»:

$$P_6(x, y, z) = P_4(x, y, z) \vee P_5(x, y, z). \quad (6)$$

В результате подстановки в (6) значений $P_4(x, y, z)$ и $P_5(x, y, z)$ из (4) и (5) получаем $P_6(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee x^7 y^2 z^5 \vee P_3(x, y, z)$.

Если построение графа G_6 и соответствующего ему предиката $P_6(x, y, z)$ в принципе возможно, то это означает, что рассматриваемая комбинация слов образует осмысленное словосочетание. Однако при этом необходимо учитывать, что семантические сети слов были построены так, что все признаки глагола присутствовали в результирующей семантической сети исходного словосочетания. В то же время у существительного-инструмента оказался «лишним» один признак, наличие которого не обязательно для совершения действия «колоть» (острием). Вообще говоря, у существительного таких признаков может быть сколь угодно много. Но если хотя бы один из признаков глагола окажется «лишним», это может привести к допущению сочетаний слов, лишенных смысла в обычных ситуациях. Примером может служить словосочетание «колоть молотком».

Построим семантическую сеть для существительного-инструмента «молоток». Воспользуемся графом G_2 , введя при этом недостающие вершины и признаки: 8 — железный, 9 — плоская поверхность, 10 — молоток, 11 — наконечник, z_6 — состоять из материала.

Граф G_2' , построенный с учетом принятых обозначений, изображен на рис. 5. Соответствующий этому графу предикат $P_2'(x, y, z) = x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^{11} z^4 \vee x^{11} y^8 z^6 \vee x^{11} y^9 z^4$.

Согласно изложенной процедуре получения предиката результирующего графа словосочетания на первом шаге необходимо образовать конъюнкцию предикатов $P_1(x, y, z)$ и $P_2'(x, y, z)$:

$$P_3'(x, y, z) = P_1(x, y, z) \cdot P_2'(x, y, z) = (x^1 y^2 z^1 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4) \cdot (x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^{11} z^4 \vee x^{11} y^8 z^6 \vee x^{11} y^9 z^4) = x^1 y^2 z^1 x^2 y^3 z^2 \vee x^1 y^2 z^1 x^{11} y^8 z^6 \vee x^1 y^2 z^1 x^{11} y^9 z^4 \vee x^1 y^2 z^1 x^{10} y^2 z^5 \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^3 z^2 \vee x^1 y^2 z^1 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^3 z^2 x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^3 z^2 x^2 y^{11} z^4 \vee x^2 y^3 z^2 x^{11} y^8 z^6 \vee x^2 y^3 z^2 x^{11} y^9 z^4 \vee x^2 y^4 z^3 x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^4 z^3 x^{11} y^8 z^6 \vee x^2 y^4 z^3 x^{11} y^9 z^4 \vee x^2 y^5 z^4 x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^4 z^3 \vee x^2 y^5 z^4 x^2 y^{11} z^4 \vee x^2 y^5 z^4 x^{11} y^8 z^6 \vee x^2 y^5 z^4 x^{11} y^9 z^4 = x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3.$$

Описанная процедура на втором этапе предполагает построение предикатов $P_4'(x, y, z)$ и $P_5'(x, y, z)$, соответствующих графам G_4' и G_5' , аналогичным G_4 и G_5 из предыдущего примера:

$$P_4'(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 = x^1 y^2 z^1 \vee P_3'(x, y, z);$$

$$P_5'(x, y, z) = x^{10} y^2 z^5 \vee x^2 y^3 z^2 \vee x^2 y^4 z^3 = x^{10} y^2 z^5 \vee P_3'(x, y, z).$$

Получим описание объединенно-пересеченного графа словосочетания «колоть молотком» в терминах алгебры конечных предикатов. Воспользуемся для этого формулой (6):

$$P'_6(x, y, z) = P'_4(x, y, z) \vee P'_5(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee \vee P'_3(x, y, z) \vee x^{10} y^2 z^5 \vee P'_3(x, y, z).$$

Применим тождества алгебры конечных предикатов. Тогда

$$P'_6(x, y, z) = x^1 y^2 z^1 \vee x^{10} y^2 z^5 \vee P'_3(x, y, z). \quad (7)$$

Формула (7) — формальное представление семантики словосочетания «колоть» молотком. Если не учитывать условие обязательного наличия всех признаков глагола в результирующем графе, то можно прийти к ошибочному выводу, что исходное словосочетание семантически верно. Учет указанного условия ставит все на свои места. Следовательно, последним шагом в процедуре выяснения осмысленности комбинации слов должна быть проверка наличия всех признаков глагола в объединенно-пересеченном графе. Другими словами, должно быть обязательно выполнено следующее условие: граф G_1 есть подграф G_6 , или в терминах алгебры конечных предикатов

$$P_1(x, y, z) \supset P_6(x, y, z) = 1. \quad (8)$$

Учет (8) не позволит пропустить как семантически правильные словосочетания, лишенные смысла.

Отметим, что это правило действует лишь в случае, когда глагол однозначен или заранее оговорено, в каком значении употреблен многозначный глагол. В частности, в рассмотренных примерах пришлось ограничить смысл многозначного глагола «колоть» лишь одним из его значений. Если же учесть значение, которое раскрывается в словосочетаниях «колоть орехи клещами», «колоть дрова топором», то семантическая сеть для этого глагола будет иметь более разветвленный вид. Это даст возможность воспринимать как семантически правильные еще целый ряд допустимых словосочетаний. Однако построение результирующего графа в этом случае потребует более сложной процедуры.

Объединенно-пересеченный граф словосочетания, а также соответствующее ему уравнение алгебры конечных предикатов позволяют отвечать не только на вопрос об осмысленности словосочетания, но и на некоторые вопросы относительно его значения, например: установить, обладает ли какой-либо объект некоторым свойством; определить, какими признаками должен обладать инструмент для совершения действия; восстановить существительное — инструмент или глагол по набору признаков и т. д.

Выбранный способ представления семантической сети также позволяет довольно просто формулировать вопросы относительно смежности вершин и отвечать на них. Для решения более слож-

ных задач целесообразно выбрать иное представление графа в виде уравнений алгебры конечных предикатов.

Список литературы: 1. *Апресян Ю. Д.* Лексическая семантика. М., 1974. 128 с. 2. *Золотова Г. А.* Синтаксический словарь. М., 1988. 383 с. 3. *Кузнецова Э. В.* Итоги и перспективы семантической классификации русских глаголов//Семантические классы русских глаголов. Свердловск, 1982. С. 3—10. 4. *Богданов В. В.* Семантико-синтаксическая организация предложения. Л., 1977. 67 с. 5. *Лазарева Э. А.* Морфосемантические связи существительных лексико-семантической группы «Орудия, предназначенные для воздействия на объект» с глаголами//Семантические классы русских глаголов. Свердловск, 1982. С. 90—96. 6. *Яценецкая М. Н.* Мотивационные отношения в лексике и лексическое гнездо//Семантическая структура слова. Кемерово, 1984. С. 3—17. 7. *Ожегов С. И.* Словарь русского языка. М., 1987. 232 с. 8. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Искусственный интеллект: Математические средства. Х., 1984. 144 с.

Поступила в редколлегию 12.04.89

УДК 510.62

В. П. КОЛЬЦОВ, канд. техн. наук,
Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, д-р техн. наук

О СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЛГЕБРЫ ИДЕЙ

В этой статье рассматриваются содержательные интерпретации алгебры идей. Первую из них назовем смысловой интерпретацией алгебры идей. В ней элементы множества S_n интерпретируем как мысли или идеи, возникающие в уме данного человека. Именно этой интерпретации алгебра идей обязана своим названием. Конкретного человека, интеллектуальная деятельность которого подвергается изучению, будем называть испытуемым. Того, кто производит опыты над испытуемым, называем исследователем. Множество S_n интерпретируем как совокупность всевозможных мыслей, которые исследователь может возбудить в уме испытуемого. Желаемую мысль исследователь может возбудить в сознании испытуемого, предъявляя ему специально подобранный текст. Мысль, возникающую в уме испытуемого в результате понимания предъявленного ему текста, назовем смыслом этого текста.

Каждый текст, используемый исследователем, должен быть понятным испытуемому, т. е. должен вызывать в его уме вполне определенную мысль. Это требование назовем условием смысловой определенности текста. Оно может не выполняться, если предъявить испытуемому невнятно произнесенные фразы, неразборчиво написанные тексты, тексты на неизвестном языке, тексты с неизвестными знаками, словами и словесными оборотами, тексты с неправильной или непонятной испытуемому грамматической структурой. Исследователь не должен допускать, чтобы испытуемый был вынужден гадать, что же именно означает предъявленный ему текст. Однако тексты, имеющие несколько раз-

личных смысловых значений, допускаются. В этом случае под смыслом текста понимается совокупность всех возможных его смысловых значений. Примером двусмысленного текста может служить фраза «Дочь бранит мать».

Каждая мысль, возбуждаемая исследователем в уме испытуемого, должна однозначно определяться порождающим ее текстом. Это требование назовем условием смысловой однозначности текста. Оно означает, что при повторном предъявлении текста в уме испытуемого должна возникать та же самая мысль. Этого можно достичь, если каждый текст, предъявленный испытуемому, будет восприниматься им как изолированный. Такой текст не должен связываться испытуемым с каким бы то ни было контекстом, вообще — с какой-либо информацией, которая могла бы изменить его смысл. Невыполнение указанных условий приводит к потере исследователем контроля над мыслями испытуемого. В этом случае эффективное изучение механизма мыслительной деятельности человека становится невозможным.

Отношение равенства, заданное на множестве S_n , интерпретируем как способность испытуемого устанавливать совпадение или различие любых мыслей, возникающих в его уме. Пользуясь этой способностью испытуемого, исследователь всегда может проверить выполнение условий смысловой определенности и однозначности текста. Эти условия будут выполняться, если любые две мысли, возбуждаемые одним и тем же текстом в уме испытуемого, всегда воспринимаются им как идентичные. Существуют различные тексты, обладающие одним и тем же смыслом. Тексты, имеющие один и тот же смысл, будем называть тождественными. Примером текстов с одинаковым смыслом могут служить предложения «Идет дождь или светит солнце» и «Светит солнце или идет дождь». Вместе с тем существуют тексты, имеющие разные смыслы. Например, для любого человека, владеющего русским языком, фразы «Идет дождь» и «Светит солнце» имеют различный смысл.

Возьмем предложение A «Идет дождь» и предложение B «Светит солнце» и образуем из них предложение C «Идет дождь или светит солнце». Смысл последнего предложения представляет собой множество трех смысловых значений, выражаемых фразами «Идет дождь», «Светит солнце» и «Идет дождь и светит солнце». Продемонстрированный на этом примере способ образования мысли C , заданной текстом C , из произвольно взятых мыслей a и b , заданных текстами A и B , рассматриваем как операцию дизъюнкции $c = a \vee b$ алгебры идей. Смысл предложения C просматриваем как логическую сумму смыслов предложений A и B . Нетрудно убедиться в том, что так заданная операция дизъюнкции мыслей подчиняется аксиомам идемпотентности, коммутативности и ассоциативности. Союз *или* рассматриваем как имя операции дизъюнкции мыслей. Смысл любого противоречивого текста, например, фразы «Идет дождь, и не идет дождь», рассматриваем как нулевую идею. Такой смысл, как нетрудно убедиться, удовлетворяет аксиоме нуля. Смысл любого бессодержательного текста, например,

фразы «Идет дождь, или не идет дождь», рассматриваем как единичную идею. Такой смысл подчиняется закону единицы.

Переходим к рассмотрению второй содержательной интерпретации алгебры идей, называемой нами ситуационно-предикатной. Будем формально представлять испытуемого в виде полного конечного автомата [1, с. 58], задаваемого функцией переходов

$$U(t) = G(U(t-1), V(t-1)) \quad (1)$$

и функцией выходов

$$V(t) = H(U(t-1), V(t-1)). \quad (2)$$

Здесь t — текущее значение дискретного времени, т. е. тот момент, в который исследователь производит очередной опыт над испытуемым. Моменты дискретного времени, следующие непосредственно друг за другом, обозначаем числами натурального ряда $0, 1, 2, \dots, m$. Момент 0 называем начальным, момент m — конечным. В роли m принимаем достаточно большое натуральное число. Переменная t определена на множестве $\{0, 1, 2, \dots, m\}$. Число $t-1$ обозначает момент дискретного времени, непосредственно предшествовавший моменту t . В роли такта времени, т. е. интервала физического времени между соседними моментами дискретного времени, принимаем достаточно малую величину.

Символом $U(t)$ обозначаем состояние памяти испытуемого в текущий момент дискретного времени. Символ $V(t)$ обозначает состояние физического мира, окружающего испытуемого, в текущий момент. Выражения $U(t-1)$ и $V(t-1)$ обозначают состояние памяти испытуемого и состояние физического мира в момент дискретного времени, непосредственно предшествовавший текущему моменту. Функция переходов G описывает закон, по которому память испытуемого переходит из состояния $U(t-1)$ в состояние $U(t)$ в результате действия на испытуемого физического мира, находившегося в состоянии $U(t-1)$. Функция выходов H описывает закон, по которому физический мир переходит из состояния $V(t-1)$ в состояние $V(t)$ в результате действий испытуемого, обусловленных состоянием его памяти $U(t-1)$.

Состояние $U(t)$ памяти испытуемого в заданный момент дискретного времени t будем характеризовать с помощью некоторого слова [1, с. 75] $T = y_1 y_2 \dots y_r$, представляющего собой последовательность букв y_1, y_2, \dots, y_r , взятых из достаточно обширного алфавита R . Полагаем, что длина r слова T достаточно велика и не меняется с течением времени. Каждое слово будем формально представлять в виде бинарного предиката $T(x, y)$, где x — номер [1, с. 115] буквы y в слове $T(x \in \{1, 2, \dots, r\})$; y — буква, стоящая на x -м месте в слове $T(x \in R)$.

Полагаем, что предикат T удовлетворяет условию определенности

$$\forall x \exists y T(x, y) = 1 \quad (3)$$

и условию однозначности [1, с. 121]

$$\forall x \forall y' \forall y'' (T(x, y') \wedge T(x, y'') \supset (y' = y'')) = 1. \quad (4)$$

Встречающийся в выражении (4) символ $=$ обозначает предикат равенства букв [2, с. 130], заданный на декартовом квадрате $R \times R$. Содержательно условия (3) и (4) означают, что на каждом месте в слове T стоит единственная буква.

Предикат T можно выразить следующей формулой алгебры конечных предикатов [1, с. 113]:

$$T(x, y) \equiv x^1 (y = y_1) \vee x^2 (y = y_2) \vee \dots \vee x^r (y = y_r). \quad (5)$$

Будем считать, что на части мест в слове T стоят незначащие буквы [1, с. 118], которые с течением времени могут замещаться значащими буквами по мере поступления в память испытуемого новой информации и запоминания ее. Полагаем, что кроме запоминания возможен и обратный процесс забывания (уничтожения [1, с. 110]) информации, когда по прошествии определенного времени некоторые значащие буквы замещаются незначащими. Мы считаем также возможной замену [1, с. 109] во времени одних значащих букв другими.

Поскольку буквы y_1, y_2, \dots, y_r могут меняться во времени, будем записывать их в случае необходимости в виде $y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t)$, подчеркивая этим тот факт, что они являются функциями времени. Так как предикат T зависит от букв y_1, y_2, \dots, y_r , то и он меняется во времени. Желая отметить это обстоятельство, будем записывать предикат T в виде T_t . С учетом изменившейся символики формулу (5) можем переписать в виде

$$T_t(x, y) \equiv x^1 (y = y_1) \vee x^2 (y = y_2) \vee \dots \vee x^r (y = y_r). \quad (6)$$

Человек не может одновременно осознавать сразу всю информацию, хранящуюся в его памяти. В каждый момент времени ему доступна лишь некоторая часть содержимого памяти. В соответствии с этим введем предикат $Q_t(x)$, который выделяет [1, с. 107] в слове $T_t(x, y)$ часть мест, осознаваемых испытуемым в момент времени t . Воспринимаемая сознанием испытуемого часть [1, с. 121] $P_t(x, y)$ слова $T_t(x, y)$, стоящая на этих местах, определяется формулой [1, с. 123]

$$P_t(x, y) \equiv Q_t(x) \wedge T_t(x, y). \quad (7)$$

Выделение части слова можно представить в виде процедуры, выполняемой с помощью регулируемого селектора [1, с. 105]. Воспринимаемую сознанием испытуемого часть $P_t(x, y)$ содержимого его памяти будем называть ситуацией. Задание испытуемому на восприятие им той или иной ситуации дает исследователь. Например, исследователь может предложить испытуемому посмотреть в окно на открывающийся вид на улицу, вспомнить одно из вчерашних событий или мотив какой-нибудь песни, обратить внимание на свое самочувствие или настроение. Мы полагаем, что образы предметов внешнего мира, формулируемые органами

чувств, непосредственно сознанием, не воспринимаются. Они сначала запоминаются и лишь после этого могут осознаваться.

Образует множество всевозможных ситуаций N и введем переменную X на этом множестве. Буквой Y будем обозначать идеи из множества S_n . Предположим, что исследователь предъявляет испытуемому ситуации X и идею Y и предлагает ему определить реализуется ли в ситуации X идея S . Например, исследователь просит испытуемого взглянуть в окно на улицу и ответить на вопрос, идет ли там дождь. Если дождь действительно идет, то испытуемый должен отреагировать ответом «да», в противном случае — ответом «нет». Своим поведением испытуемый реализует некоторый предикат $Z=L(X, Y)$, заданный на декартовом произведении $N \times S_n$. В нашем примере в роли ситуации X выступает восприятие испытуемым улицы, роль идеи Y играет смысл фразы «Идет дождь». В роли нулевого значения $Z=0$ предиката L выступает ответ испытуемого «нет», в роли единичного значения $Z=1$ — ответ «да». Значение Z предиката L примем за истинностное значение высказывания, задающего идею Y . В нашем примере в роли такого высказывания выступает предложение «Идет дождь». Если $Z=1$, то высказывание, задающее идею Y , считаем истинным для ситуации X , если же $Z=0$, то — ложным. Предикат L называем ситуационно-смысловым.

При фиксированной идее $Y=A$ бинарный предикат $L(X, Y)$ превращается в унарный. Обозначим этот предикат символом

$$L_A(X) \equiv L(X, A), \quad (8)$$

называя его ситуационным предикатом, соответствующим идее A . Очевидно, что разным идеям $A \neq B$ соответствуют различные предикаты L_A и L_B , $L_A(X) \neq L_B(X)$. Действительно, всегда можно подобрать такую ситуацию $X=C$, в которой идея A реализуется, а идея B — нет, т. е. $L_A(C) \neq L_B(C)$. Вместе с тем реакции испытуемого на любую ситуацию X , соответствующие тождественным текстам, имеющим один и тот же смысл A , очевидно, всегда будут одинаковыми. Это означает, что между любой идеей $A \in S_n$ и соответствующим этой идее ситуационным предикатом $L_A(X)$ существует взаимно однозначное соответствие. Таким образом, предикат $L_A(X)$ может выступать в роли полной характеристики идеи A . Описанную интерпретацию алгебры идей назовем ситуационно-предикатной.

Мы получили вторую интерпретацию алгебры идей, тесно связанную с ранее рассмотренной смысловой интерпретацией. Теперь в роли множества S_n выступает множество всевозможных предикатов $L_A(X)$, причем каждой идее A взаимно однозначно соответствует ситуационный предикат $L_A(X)$. Так как множество всех ситуаций конечно, то множество S_n всех ситуационных предикатов $L_A(X)$ конечно. Это означает, что число всех идей, которыми может оперировать испытуемый, конечно. Операции дизъюнкции $A \vee B$ идей A и B соответствует дизъюнкция $L_A(X) \vee L_B(X)$ ситуа-

ситуационных предикатов L_A и L_B . Очевидно, что операция дизъюнкций ситуационных предикатов идемпотентна, коммутативна и ассоциативна, так что в ситуационно-предикатной интерпретации аксиомы идемпотентности, коммутативности и ассоциативности алгебры идей выполняются. Нулевой идее 0 соответствует тождественно ложный ситуационный предикат $L_0(X) \equiv 0$, единичной идее 1 соответствует тождественно истинный ситуационный предикат $L_1(X) \equiv 1$. Ясно, что аксиома нуля и закон единицы в ситуационно-предикатной интерпретации алгебры идей выполняются.

Если две идеи A и B находятся в отношении частичного порядка

$$A \leq B, \quad (9)$$

то соответствующие им ситуационные предикаты удовлетворяют условию

$$\forall X (L_A(X) \supset L_B(X)) = 1. \quad (10)$$

Обратно, если выполнено условие (10), то будет также выполняться условие (9). Таким образом, отношение частичного порядка $A \leq B$ идей A и B интерпретируется как отношение включения $L_A \subseteq L_B$ соответствующих им ситуационных предикатов. Каждой нулевой минимальной идее соответствует ситуационный предикат, обращающийся в единицу только на одной единственной ситуации.

Таким образом, каждой базисной идее A соответствует ситуационный предикат $L_A(X)$, удовлетворяющий условию

$$\exists! X L_A(X) = 1. \quad (11)$$

Ситуационный предикат L_A , удовлетворяющий условию (1), будем называть базисным. Очевидно, что дизъюнкция всех базисных ситуационных предикатов равна тождественно истинному ситуационному предикату, так что закон истинности в ситуационно-предикатной интерпретации выполняется. Число n интерпретируем как число всех ситуаций, содержащихся в множестве N . Число всех ситуационных предикатов, заданных на множестве N , равно 2^n , что согласуется с соответствующим требованием в определении алгебры идей. Очевидно, что любой предикат $L_A(X)$ можно представить в виде дизъюнкции некоторых базисных предикатов, так что аксиома n -мерности выполняется.

Перейдем теперь к рассмотрению третьей содержательной интерпретации, которую назовем ситуационно-множественной. В этой интерпретации в роли элемента множества S_n , соответствующего идее A , принимаем множество M_A всех ситуаций, удовлетворяющих условию

$$L_A(X) = 1. \quad (12)$$

Дизъюнкция $A \vee B$ идей A и B в данной интерпретации соответствует объединению $M_A \cup M_B$ множеств M_A и M_B . Нулевой идее соответствует пустое множество ситуаций, единичной идее соответствует множество N всевозможных ситуаций. Отношению частичного

порядка $A \leq B$ идей A и B соответствует отношение включения $M_A \subset M_B$ множеств M_A и M_B . Множество всех идей S_n интерпретируем как систему всех подмножеств множества N . Базисным элементам множества S_n соответствуют множества, состоящие из единственной ситуации.

Последней рассмотрим ситуационно-кодovou интерпретацию алгебры идей. Пронумеруем в каком-нибудь порядке все ситуации множества N . Получаем ряд ситуаций $X_0, X_1, \dots, X_{2^n-1}$. Составим n -компонентный двоичный набор $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, соответствующий идее A , по следующему правилу: если $X_i \in M_A$ ($i \in \{0, 1, \dots, 2^n-1\}$), то принимаем $\alpha_i = 1$, если же $X_i \notin M_A$, то принимаем $\alpha_i = 0$. Так, составленный двоичный набор назовем кодом идеи A . Множество всех таких двоичных наборов обозначаем буквой K . Очевидно, что между двоичными наборами множества K и идеями множества S_n существует взаимно однозначное соответствие. Дизъюнкция идей соответствует поразрядная дизъюнкция двоичных наборов. Нулевой идее соответствует двоичный набор, составленный из одних нулей, единичной идее соответствует двоичный набор, составленный из одних единиц. Базисным идеям соответствуют двоичные наборы, в состав которых входит одна единица.

Итак, мы видим, что мысли испытываемого поддаются математическому описанию и притом даже многими способами. При этом в сферу формального описания попадает также и процесс мышления, представляющий собой ряд операций над мыслями. Мысли можно описывать абстрактно как элементы некоторого множества, на котором заданы отношение равенства и одна базисная бинарная операция, называемая дизъюнкцией идей и удовлетворяющая аксиомам идемпотентности, коммутативности, ассоциативности, нуля и n -мерности. Существуют, кроме того, три равносильных друг другу способа конструктивного формального описания идей в виде предикатов, множеств или двоичных наборов. Базисная операция над мыслями в этих описаниях представлена соответственно дизъюнкцией предикатов, объединением множеств и поразрядной дизъюнкцией двоичных наборов.

Осталось еще проинтерпретировать формулы алгебры идей. Содержательно формулы алгебры идей интерпретируем как тексты, предъявляемые исследователем испытываемому. Каждая формула алгебры идей обозначает некоторый элемент множества S_n . Соответственно этому каждый текст имеет свой смысл, выражает некоторую мысль. Понятию тождественности формул соответствует смысловая тождественность текстов. Знаку дизъюнкции, фигурирующему в формулах алгебры идей, соответствует союз «или», встречающийся в текстах. На этом, однако, возможности интерпретации формул алгебры идей исчерпываются. Для базисных символов, входящих в формулы алгебры идей, не удастся найти аналога в текстах естественного языка. Вместе с тем, обращаясь к реальным текстам, используемым при общении между людьми, например, к предложениям, записанным на русском языке, мы обна-

руживаем в них множество таких деталей, для которых нет прототипов в формулах алгебры идей.

Означает ли это, что структура текстов естественного языка не поддается формализации в терминах алгебры идей? Мы полагаем, что делать такой вывод было бы преждевременно. Дело в том, что базис алгебры идей, состоящий из базисных элементов e_1, e_2, \dots, e_n и базисной операции \vee дизъюнкции идей, был нами выбран совершенно случайно и без учета особенностей структуры текстов естественного языка. Очевидно, что возможны многие различные варианты определений, задающих равносильные друг другу алгебры идей, основанных на иных базисных элементах и базисных операциях. Вероятность того, что в текстах естественного языка фактически реализовано именно то определение алгебры идей, которое было выбрано нами, весьма невелика. В свете сказанного представляется целесообразным проанализировать структуру текстов естественного языка на предмет выяснения того, какой конкретно набор базисных элементов и операций фактически в них используется. Если это удастся сделать, то можно будет в соответствии с полученными результатами разработать другой, равносильный исходному, вариант определения алгебры идей, допускающий более глубокую ее содержательную интерпретацию.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта: Технические средства. X., 1986. 133 с. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта: Математические средства. X., 1984. 144 с.

Поступила в редколлегию 06.02.89

УДК 510.62

*М. Ф. БОНДАРЕНКО, д-р техн. наук, А. С. ЛЕВИЦКИЙ,
О. А. ЛИХАЧЕВА*

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СЕМАНТИКИ ПРОИЗВОДНЫХ С МОДИФИКАЦИОННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

Одной из важнейших задач деривационного анализа, входящего в технологию формализации естественного языка, является определение семантики дериватов, содержащих более одного аффикса. В статье в качестве объекта исследования выбраны существительные со значением лица, получаемые в результате деривационного процесса от всех частей речи. Производные со значением «лицо» выбраны в качестве объекта исследования не случайно. Это прекрасный материал для иллюстрации способов деривационного анализа многоаффиксных (многосуффиксных) лексических единиц, во-первых, потому, что многие существительные со значением лица образованы вследствие двойной деривации (звон — звонить — звонарь), во-вторых, это материал для последующей

деривации, поскольку существительные со значением лица могут семантически модифицироваться семей «детскость», оттенками субъективной оценки и семей «женскость», а любая семантическая модификация находит свое морфологическое отражение в виде очередного аффиксального слоя (учи-тель-ница).

Остановимся на некоторых вопросах, возникающих при попытке формализации смысла многослойных производных. Деривационный анализ любой производной лексической единицы начинается с проведения морфемных швов. Следующим шагом в акте определения смысла деривата является установление словообразовательного значения морфа, следующего сразу за корнем. Если суффикс один, то на этом акт анализа заканчивается. На языке алгебры конечных предикатов [1] вычисление семантической роли морфа может выглядеть так [2]:

$$M^i \cdot K_i^i \sim r^i, \quad (1)$$

M^i — морфема i , к которой принадлежит исследуемый морф; K_i^i — класс основ, принадлежащий морфеме M^i ; r^i — семантическая роль морфа, т. е. его конкретное словообразовательное значение:

$$r^i = \bigwedge_{l=1}^n x_l^i, \quad (2)$$

x_l^i — l -й семантический оттенок, где $i \in \{a, б, в \dots\}$ — значения оттенков смысла. Если перед нами цепочка суффиксальных морфов, то предикатом (1) мы воспользуемся лишь в конце акта анализа деривата.

После морфной препарации многослойного деривата предстоит вычислить коэффициент семантического словообразовательного класса, к которому относится первая производная основа, полученная в результате соединения корня слова с первым словообразующим аффиксом

$$M^i K_i^i \sim K_p^q. \quad (3)$$

Если следующий аффикс, с которым соединяется основа, последний, то можно воспользоваться предикатом (1) и вычислить словообразовательное значение, мотивируемое этим морфом:

$$M^p K_p^q \sim r^q. \quad (4)$$

В противном случае опять воспользуемся предикатом (3) и вычислим словообразовательный класс, в котором окажется вторая (по отношению ко второму морфу) основа.

Приведем примеры реальных машинных уравнений, записанных на языке алгебры конечных предикатов, иллюстрирующих все сказанное выше. Пусть в деривате исследова-тель-ниц(а) проведены морфемные швы. Основа исследова- принадлежит к семантическому классу K_5^6 морфемы <тель> (M^5). Тогда на языке алгебры конечных предикатов можно записать следующее:

$$M^5 K_5^6 \sim r^6 \cdot K_{31}^{80}, \quad (5)$$

$$r^1 \vee r^2 \vee \dots \vee r^{80} = 1, \quad (6)$$

где r^6 — семантическая роль 6 морфа, относящегося к морфеме M^5 . Предикат (5) описывает также условия попадания дериватов, образующих следствие соединения основ с морфами морфемы M^5 , в класс K_{31}^{80} .

$$r^6 = x_1^1 x_2^2 x_3^3 x_{11}^c x_{12}^{\Phi} x_{13}^{\Phi}, \quad (7)$$

$$x_1^1 \vee x_1^* \vee x_1^n = 1, \quad (8)$$

$$x_2^2 \vee x_2^n \vee x_2^0 = 1, \quad (9)$$

$$x_3^M \vee x_3^* \vee x_3^0 = 1, \quad (10)$$

$$x_{11}^0 \vee x^c = 1, \quad (11)$$

$$x_{12}^n \vee x^c \vee x^a \vee x^1 \vee x^v \vee x^{\Phi} = 1, \quad (12)$$

$$x_{13}^c \vee x_{13}^{\Phi} = 1, \quad (13)$$

x_1^1 — лицо; x_2^0 — характеризуется действием; x_3^M — муж. пол., x_{11}^c — субъект действия; x_{12}^{Φ} — профессионально производит действие; x_{13}^{Φ} — профессия.

k_{31}^{80} - (предикат 5) — условие принадлежности деривата (в нашем примере исследователь) к семантическому словообразовательному классу K_{31}^{80} .

$$M^{31} k_{31}^{80} \sim x_5^*. \quad (14)$$

Этот предикат может иметь следующую содержательную интерпретацию. Если основа (производная или производная) принадлежит к семантическому словообразовательному классу K_{31}^{80} морфемы M^{31} <ниц(а)>, то ее соединение с морфемой M^{31} означает модификацию семантики деривата семей «женскость»:

$$x_5^* \vee x_5^2 \vee x_5^n = 1, \quad (15)$$

x_5^* — женскость; x_5^2 — жена лица; x_5^n — женскость + неодобрение.

Отметим, что предлагаемый алгоритм строился на допущении, что все семантические модификации производящей единицы формально отражены в морфемной структуре производной лексической единицы, в виде морфов. Или иными словами, семантика производной лексической единицы (содержание) однозначно связана с формой (морфемной структурой).

Рассмотрим семантический класс, основы которого соединяясь с морфом -к(а), модифицируются семей «женскость». Тут могут находиться производные лексические единицы (сосед-ка, шпионка), а также и производные (отглагольные — эмигрант-ка, отсубстантивные производные — мотоцикл-ист-ка). Этот пример хоро-

шо иллюстрирует и то обстоятельство, что в один семантический словообразовательный класс могут входить как непрямые, так и производные основы, причем последние могут быть мотивированы разными частями речи. Но главное то, что всем дериватам в нашем примере характерно формально-семантическое единство, т. е. материализация словообразовательной семантики морфов и словообразовательных шагов в виде морфемных цепочек. Эмигрант- (лицо, муж. пол., характеризуется отношением к действию, объект) -к(а)-женскость; мотоцикл- -ист-(лицо, муж. пол., характеризуется отношением к предмету) -к(а)-(женскость), наличие единства формы и содержания—соответствие смысла словообразовательной и морфологической структурам. Однако подобное соответствие в многослойных производных единицах соблюдается далеко не всегда.

Приведем пример класса основ иллюстрирующего «диссонанс» формы и содержания. Пусть это будет семантический словообразовательный класс, основы которого, соединяясь с суффиксом -ц(а) модифицируются семьей «женскость» ($A_{39}^{E_0}$). В этом классе могут содержаться непрямые лексические единицы (мастер-, фельдшер-, царь, и т. д.). К этому классу принадлежат также производные основы, мотивированные морфами -ец, -лец (чтец, певец, страдалец) и морфами -ик, -ник, -чик, -щик (ударник, работник, закройщик, буфетчик). Соединим предлагаемые основы с морфом -ц(а). Имеем: мастер-иц(а), цар-иц(а) — в первом случае. Во втором случае — чт-иц(а), страда-л-иц(а); в третьем случае — ударн-иц(а), работн-иц(а), закрой-щ-иц(а), буфет-ч-иц(а). Во втором и третьем случае легко видеть отсутствие единства формы и содержания. Наряду с различного рода усечениями ранее соединенных морфов (закрой-щ-иц(а)) можно наблюдать и полное отсутствие морфов, определяющих категориальную семантику мотивирующей основы (чт-иц(а), пев-иц(а)).

Предложенный пример можно отнести не к исключениям, а скорее к языковой норме, поскольку в результате исследований установлено, что одни морфы, мотивирующие «женскость», могут совсем не усекают предыдущий словообразующий аффикс (если он имеется), другие — в одних случаях усекают, а в других вовсе исключают его. В процессе моделирования семантики многослойных производных авторам показалось удобным придерживаться следующего правила в акте деривационного анализа. Если словообразующий (у нас модифицирующий) морф не исключает и не усекает предыдущий аффикс, то его удобно рассматривать в качестве однооттеночного модификатора семантики (у нас «женскость»). В противном случае этот морф считать категоризатором семантики основы и относить его к разряду неоморфов. Последнее было особенно удобно делать в том случае, когда предыдущий морф исключается вовсе. Тогда морф-модификатор можно отнести к некоторой морфеме (если это возможно), а семантическую роль, соответствующую исключенному морфу, актуализировать с соот-

ветствующей модификацией в случае присутствия нашего морфа-модификатора. На языке алгебры конечных предикатов [1] по этому поводу можно записать следующее высказывание:

$$M^a k_i^j \sim r^j x_s^k, \quad (16)$$

где M^a — морфема, к которой можно отнести морф-модификатор; k_i^j — семантический класс j , относящийся к морфеме M^i , один из морфов которой исключается в результате соединения основы с аффиксом морфемы M^a ; r^j — семантическая роль исключенного морфа, присвоенная аффиксу-модификатору.

Вернемся к рассмотрению морфов, усекающих предыдущий аффикс. Обычно после усечения в производной лексической единице может остаться одна или две буквы от усекаемого морфа. Нам было удобно отнести их к следующему (усекающему) аффиксу, и эту новую конструкцию считать морфом (неоморфом), относясь к нему, как и в предыдущем случае, к категоризатору семантики, однако содержащем в себе и модифицирующий оттенок. Для вычисления словообразовательной семантики неоморфов можно пользоваться предикатом (16), однако морфема M^a в этом случае должна содержать в своем составе и неоморф (неоморфы).

Остановимся на примерах. Рассмотрим фрагмент класса основ, относящегося к морфеме <ик>. Пусть это будут основы, актуализирующие совместно с морфом -ик, следующую семантику: «лицо, муж. пол., характеризуется отношением к предмету-явлению, профессионально занимается, ученый (специалист по...)»

хим- k_{11}^{56} ,

физ- k_{11}^{56} ,

электр- k_{11}^{55} ,

механ- k_{11}^{56} .

Понятно, что многие из предлагаемых лексических единиц могут иметь и какую-то другую семантику, кроме «ученый специалист», химик — «работник химической промышленности», механик — «лицо, наблюдающее за работой машины» и т. д. Но поскольку вопрос многозначности сейчас нас не интересует, то оставим для наглядности примера против каждой основы по одному коэффициенту класса k_i^j , т. е. будем считать, что эти основы могут совместно с аффиксом -ик актуализировать лишь по одной семантической роли, что вовсе не будет ущербно для изложения.

Пусть на вход системы поступил дериват химичка. Проведем морфемные швы следующим образом: хим-ичк(а). Дело в том, что конструкцию ичк(а) удобно считать неоморфом, способным категоризировать семантику основы. Этот морф можно отнести к морфеме -к(а). Тогда на языке алгебры конечных предикатов имеем:

$$S_{11}^- S_{12}^- S_{13}^- S_{21}^u S_{23}^r S_{31}^- S_{32}^k S_{33}^- S_{41}^- S_{42}^- S_{43}^- \sim M^{23}, \quad (17)$$

где S_{ij} — разряд регистра сегментированных суффиксов [3]; i — номер сегмента; j — номер позиции в сегменте. Тогда реальное словообразовательное значение, актуализируемое этим морфом, можно определить из уравнения

$$M^{23}k_{11}^{56} \sim r^{58} \cdot x_5^{\text{ж}}. \quad (18)$$

К достоинствам предлагаемого способа можно отнести то, что с помощью предиката (18) можно будет определить и смысл потенциальных (не принятых узусом), но понятных носителям языка лексических единиц (механичка, электр-ичка).

Предложенный способ позволяет несколько упростить алгоритм определения смысла многоаффиксных дериватов, так как идентификация усеченных морфов нам представляется несколько затруднительной.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Теория интеллекта: Математические средства. Х., 1984. 144 с. 2. *Шаронова Н. В.* Математические модели суффиксального словообразования и их использование для автоматической обработки отглагольных имен существительных в текстах русского языка. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Х., 1984. 222 с.

Поступила в редколлегия 15.03.89

УДК 510.62

*М. Ф. БОНДАРЕНКО, д-р техн. наук,
А. С. ЛЕВИЦКИЙ, О. А. ЛИХАЧЕВА*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО РЕГИСТРА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОРФЕМЫ

Речь — естественное средство общения между людьми и пользователи предпочли бы общаться с ЭВМ на естественном языке. Поскольку естественному языку не потребуется специально обучаться, то при эксплуатации различных диалоговых систем предпочтительна естественная языковая форма общения человека с ЭВМ. В настоящее время ведутся активные работы по моделированию естественного языка и его фрагментов. Одной из важнейших задач в проблеме формализации естественного языка является автоматизированная обработка текстовой информации.

В статье рассматривается способ идентификации суффиксальных морфем на примере существительных со значением лица, получаемых в результате аффиксации от разных частей речи. Дело в том, что существительные, образованные суффиксацией от разных частей речи, являются удобным материалом для семантических исследований. На множестве суффиксальных существительных можно проследить, как меняется смысл лексической единицы после соединения с ней того или иного аффикса, какую семантику

привносит тот или иной морф, как один и тот же морф может иметь различные словообразовательные значения в зависимости от семантических особенностей мотивирующей единицы. Статья является продолжением прежних работ авторов [1].

Поскольку тексты суффиксальных морфов — это объект математического описания, то к ним должны предъявляться все требования, как и к любому объекту описания математическим аппаратом алгебры конечных предикатов [3]. Поэтому для выбора переменных, связывающих уравнениями фрагменты текста, необходимо каждому фрагменту текста (букве, морфу) поставить в соответствие некоторые переменные, обозначающие место данного фрагмента в тексте. Для этой цели и вводится некоторая абстрактная конструкция, называемая лингвистическим регистром (ЛР). Остановимся на структуре регистра.

Лингвистический регистр сегментированных суффиксов — это абстрактная конструкция, состоящая из 4-х сегментов. Каждый сегмент состоит из трех разрядов и имеет такую структуру: <гласная буква> <согласная буква> <мягкий знак>. На каждом из мест сегмента может находиться соответствующая буква либо пробел [2]. В соответствии с буквенной структурой сегментов в лингвистический регистр по определяемому алгоритму «загружены» суффиксальные морфы, формально объединенные в морфемы. Таким образом, получается, что каждая буква любого морфа, входящего в ту или иную морфему, имеет четкую привязку к позиции ЛР. На языке алгебры конечных предикатов [3] математическая запись объединения морфов, уже размещенных в ЛР, в морфему (в нашем примере) <тель> имеет такой вид:

$$S_{11}^- S_{12}^+ S_{17}^- S_{21}^c S_{22}^a S_{23}^b S_3^- S_4^- \vee S_{11}^u S_{12}^r S_{12}^- S_{21}^c S_{22}^a S_{23}^b S_3^- S_4^- \sim M^5, (1)$$

где S_{kl}^z — l -я позиция k -го сегмента регистра, заполненная из множества букв русского алфавита. Но в реальной ситуации, после проведения морфемных швов, мы имеем некоторые буквенные последовательности (морфы), не имеющие никакой привязки к ЛР. Это последнее обстоятельство является серьезным препятствием для решения задачи идентификации морфем. Остановимся на одном из способов формализации «узнавания» морфов.

Итак, имеем ЛР, в которой загружены морфы, формально объединенные в морфемы. Каждая морфема имеет свое имя M^i , где i — порядковый номер морфемы. Осуществим переход от морфемы, имеющей определенное имя (M^i), к морфам, затем к сегментам морфов, обозначая их именем морфемы (M^i), затем к каждой букве морфа, присваивая каждой букве имя (M^i). После присвоения каждой букве морфа, входящего в морфему, имени морфемы осуществим сжатие ЛР в вертикальном направлении. Опишем алгоритм сжатия ЛР.

При вертикальном сжатии ЛРСС ставилось условие, что каждая буква русского алфавита встречается в позиции S_{kl} только один раз, при этом ей присваиваются имена всех морфем, в состав

ун—/ун—/ыч—/— — —
 юл—/юл—/—к—/— — —
 яч—/яч—/—х—/— — —
 ыг—/ыц—/—щ—/— — —
 —х—/—й—/— — —/— — —
 —ш—/—ш—/— — —/— — —
 —щ—/—щ—/— — —/— — —,

а реальные уравнения для букв, входящих в выбранные нами морфемы <атор> и <тель>, выглядят так:

$$S_{11}^a \sim M^3 \vee M^{17} \vee M^{18} \vee M^{20} \vee M^{21} \vee M^{35} \vee M^{36} \vee M^{41}, \quad (2)$$

$$S_{1,2}^r \sim M^3 \vee M^{17} \vee M^{20} \vee M^{35} \vee M^{36}, \quad (3)$$

$$S_{21}^0 \sim M^{17} \vee M^{19} \vee M^{23}, \quad (4)$$

$$S_{22}^p \sim M^9 \vee M^{17} \vee M^{19} \vee M^{23} \vee M^{37} \vee M^{42} \vee M^{43}, \quad (5)$$

$$S_{11}^e \sim M^3 \vee M^5 \vee M^6 \vee M^{11} \vee M^{13} \vee M^{16} \vee M^{19} \vee M^{37} \vee M^{53}, \quad (6)$$

$$S_{22}^l \sim M^5 \vee M^{21} \vee M^{31}, \quad (7)$$

$$S_{23}^6 \sim M^5 \vee M^9 \vee M^{31} \vee M^{42}. \quad (8)$$

Уравнение для каждой буквы регистра можно записать в общем виде:

$$S_{ke}^z \sim \bigvee_{i=1}^n M^i, \quad (9)$$

где S — l -я позиция k -го сегмента регистра, заполненная буквой a из множества букв русского алфавита; M^i — морфема M , имеющая условный номер i . Можно записать уравнения алгебры конечных предикатов [3], аналитически описывающие ЛРСС после минимизации:

$$z_{\beta}^a \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (10), \quad z_{\beta}^b \sim F_1 \vee F_2 \quad (11), \quad z_{\beta}^r \sim F_1 \quad (12),$$

$$z_{\beta}^c \sim F_1 \vee F_2 \quad (13), \quad z_{\beta}^u \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \vee F_4 \quad (14), \quad z_{\beta}^y \sim F_2 \quad (15),$$

$$z_{\beta}^k \sim F_3 \vee F_4 \quad (16), \quad z_{\beta}^j \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (17), \quad z_{\beta}^n \sim F_1 \vee F_2 \quad (18),$$

$$z_{\beta}^v \sim F_1 \vee F_2 \quad (19), \quad z_{\beta}^x \sim F_1 \vee F_3 \quad (20), \quad z_{\beta}^f \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (21),$$

$$z_{\beta}^m \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (22), \quad z_{\beta}^h \sim F_1 \quad (23), \quad z_{\beta}^z \sim F_2 \vee F_3 \quad (24),$$

$$z_{\beta}^4 \sim F_1 \vee \quad (25), \quad z_{\beta}^z \sim F_1 \vee F_2 \vee F_4 \quad (26), \quad z_{\beta}^m \sim F_1 \vee F_2 \quad (27),$$

$$z_{\beta}^m \sim F_2 \vee F_3 \quad (28), \quad z_{\beta}^n \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (29), \quad z_{\beta}^b \sim F_1 \vee F_2 \quad (30),$$

$$z_{\beta}^p \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \quad (31), \quad z_{\beta}^n \sim F_1 \vee F_2 \vee F_3 \vee F_4, \quad (32)$$

где (10) — предикат, описывающий возможное появление буквы α в одном из сегментов регистра; β — порядковый номер буквы в суффиксе, поступившем для идентификации, так, например, для морфа-тель $\beta=1$, если $\alpha=T$; $\beta=2$, если $\alpha=e$ и т. д. Запишем структуру сегмента (см. выше) в аналитическом виде:

$$S_{k1}^{(a)} S_{k2}^{(a)} S_{k3}^{(b)} \vee S_{k1}^{(z)} S_{k2}^{(c)} \vee S_{k2}^{(c)}, \quad (33)$$

где запись $S_{k1}^{(z)}$ означает, что в позиции 1 сегмента k может находиться только гласная буква; S_{k1}^c — в позиции 2 сегмента K можно встретить лишь согласную букву; S_{k3}^b — в позиции 3 сегмента K встречается лишь ь (мягкий знак).

Итак, пусть на вход нашей системы пришла некоторая последовательность букв $\langle \text{тель} \rangle$. Если это морф, то его нужно идентифицировать. Воспользовавшись предикатом (33), проведем сегментные швы

$$z_1^T \sim F_k \quad (34), \quad z_2^c z_3^a z_4^b \sim F_{k+1}. \quad (35)$$

Предикаты (34) и (35) могут иметь такую содержательную интерпретацию. Буква $\langle t \rangle$ представляет собой сегмент K , последовательность $\langle \text{ель} \rangle$ представляет собой сегмент $K+1$. Поскольку буква $\langle t \rangle$ может встречаться в сегментах F_1, F_2, F_3 (22), то для идентификации морфемы можно воспользоваться предикатом (3), относящимся к сегменту $F_1(K=1)$. Поскольку остаются буквы нашей последовательности находящиеся в одном сегменте, следующем за сегментом $K(1)$, то воспользуемся предикатами (3), (6), (7), (8). Логически умножив левые и правые части предикатов, можно получить условный номер морфемы, в которую входит исследуемый нами морф

$$S_{12}^T S_{21}^c S_{22}^a S_{23}^b \sim M^3. \quad (36)$$

Системой предикатов типа (2—8) можно воспользоваться для обнаружения ошибок и их коррекции. Авторам удалось 116 морфов описать системой из 53-х уравнений. По сравнению с ранее применявшимся способом описания морфов этот способ несколько экономнее. К достоинствам предлагаемого способа можно отнести и его простоту.

Список литературы: 1. *Левицкий А. С., Шаронова Н. В., Бузницкая Э. М.* Использование лингвистического регистра при решении задач анализа и синтеза русского текста//Пробл. бионики. 1987. Вып. 38. С. 16—18. 2. *Шаронова Н. В.* Математические модели суффиксального словообразования и их использование для автоматической обработки отглагольных имен существительных в текстах русского языка. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Х., 1984. 213 с. 3. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Теория интеллекта: Математические средства. Х., 1984. 144 с. 4. *Бондаренко М. Ф.* Математические модели морфологических и фонетических отношений и их применение для автоматизации обработки речевых сообщений. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Х., 1984. 350 с.

Поступила в редколлегию 15.03.89

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЗНАЧНЫХ СИСТЕМ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. СООБЩЕНИЕ 1**

Развитие вычислительной и кибернетической техники поставило ряд задач и проблем взаимодействия человека с ЭВМ (интерактивного режима), которые до сих пор не нашли своего решения и классифицируются как задачи искусственного интеллекта. Создание систем идентификации, предсказания и распознавания образов, в которых интерактивный режим работы является главной частью всего комплекса интеллектуальных свойств, выдвинуло эти задачи на одно из первых мест [1—9, 14].

Исследование распознавания человеком образов показывает, что в модели мира, создаваемой мозгом, функционирует два механизма: опознавания и видения объекта [3—7]. С помощью первого мы относим объект к определенному классу (семантический анализ), благодаря второму — можем описать его в мелких деталях и свойствах (структурный анализ). Мозг, как хранитель объективной модели мира, устроен адекватно с содержанием мировой реальности, иначе человек не смог бы эволюционировать и совершенствоваться в процессе своего развития. Естественно, напрашивается вывод о целесообразности технического моделирования принципов функционирования человеческого мозга для решения задач создания систем искусственного интеллекта.

В настоящей работе рассмотрены основные концепции построения систем искусственного интеллекта (ИИ), адекватных основным задачам деятельности человека и использующих гибридные средства с многозначным кодированием [10—13]. С материалистической точки зрения эти концепции согласуются с открытыми человеком законами диалектики и их проявлениями в задачах, связанных с распознаваниями образов: законом единства и борьбы противоположностей — в виде наличия параллельно действующих в пространстве и времени механизмов как дискретного, так и непрерывного отображения объектов; законом перехода количественных изменений в качественные — количественные изменения уровней градации яркости и цвета приводят к качественным изменениям в отображении объектов; законом отрицания отрицания — в виде изменения и чередования признаков кодирования сообщений об объектах в нейронах мозга — от пространственного к временному и от двузначного к многозначному [7].

Процессы распознавания образов в системах ИИ, создаваемых в настоящее время, реализуются на процессорах фон-Неймана, характеризующихся итеративными алгоритмами функционирования. Тогда для распознавания, к примеру, черно-белого изображения, состоящего из 400 точек, имеющих только две градации яр-

кости, путем последовательного перебора возможных решений процессор фон-Неймана должен выполнять $2^{10^{120}}$ операций (в десятичной системе счисления это $10^{10^{119,5}}$). Для сравнения: число атомов в видимой Вселенной 10^{73} [15]. Это сравнение и ряд других, схожих с ним, побуждает создателей систем ИИ к поиску выхода из создающегося положения.

В частности, в работах [8, 9, 14] сделан акцент на концепции нейрофизиологических и нейрокибернетических аспектов механизмов живого мозга. Связано это с тем, что естественные нейронные структуры из нервных клеток — нейронов, по существу являются высокоэффективными распознающими системами и, по этой причине, представляют интерес не только для медиков и физиологов, но и для инженеров, занимающихся проектированием систем ИИ. Однако прямой перенос результатов исследований нейрофизиологов в инженерную практику в настоящее время невозможен из-за отсутствия соответствующей биоэлектронной технологии и элементной базы, что привело к разработке и созданию множества разновидностей искусственных нейронов, реализованных на элементах импульсной техники. Но и здесь возникли осложнения из-за неадекватности нейронных моделей множеству требований, предъявляемых к системам ИИ. Как альтернатива, в работах [8, 9] предлагается создание нейроподобных моделей на основе техники многопроцессорных вычислительных систем с программируемой архитектурой, в частности, на основе цифровых интегрирующих структур. Таким образом, сохраняя структуру фон-Неймана, строятся системы ИИ, являющиеся существенно двузначными, но моделирующими нейронные процессы пространственного суммирования разных по уровню воздействий, инерциальных и пороговых свойств нейронных мембран, а также изменения частоты следования передаваемых сообщений. Хотя очевидно, что все перечисленные свойства и функции по сути существенно не только дискретны по времени, но и многозначны (дискретны по уровню).

Как следствие, неадекватность используемых принципов кодирования и элементной базы моделируемым процессам влечет за собой избыточность, усложнение и неочевидность используемого математического и технического аппарата преобразований, потерю микроуровня параллелизма в обработке, ожидаемого быстродействия и гибкости перестройки структуры без существенных изменений архитектуры и связей.

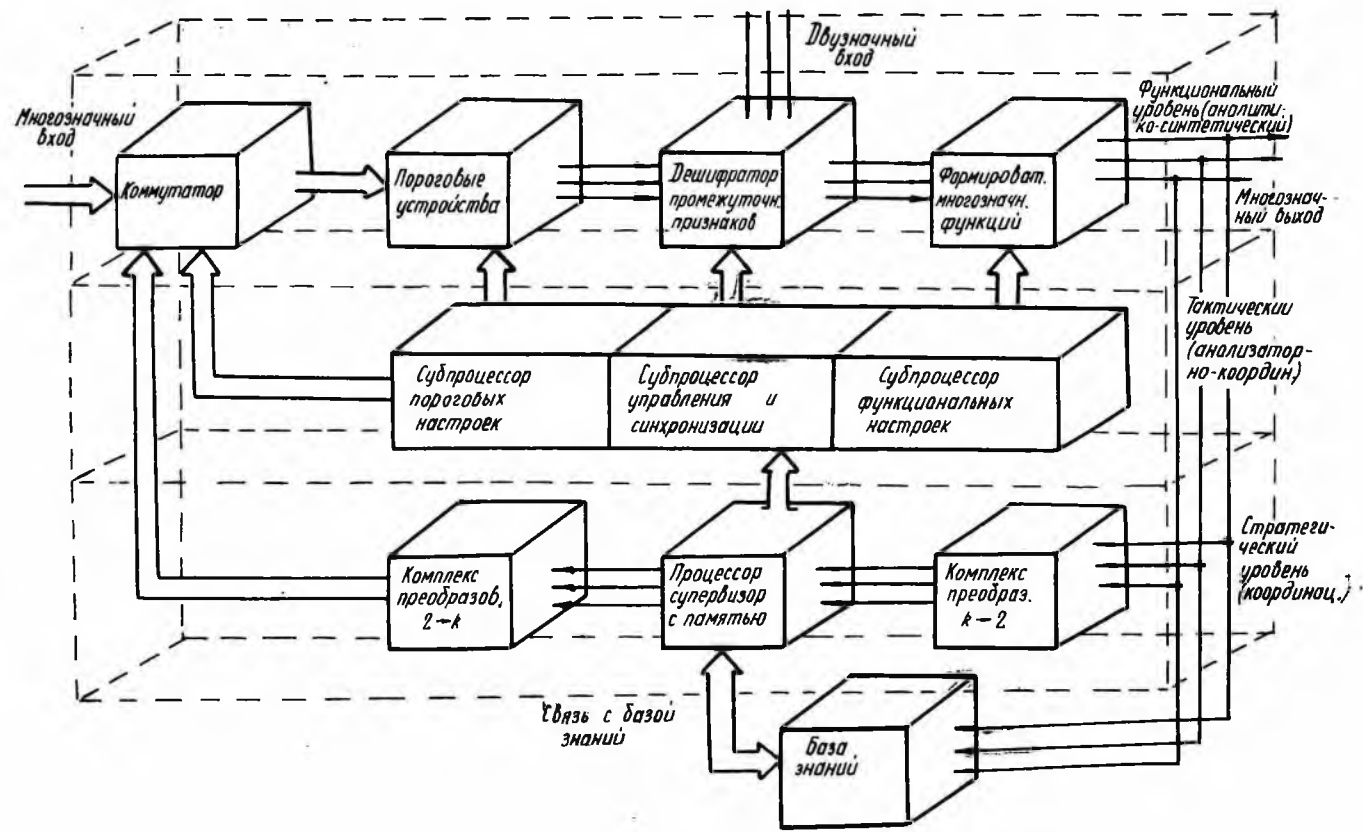
Концептуальная модель ячейки системы ИИ. Изложенные концепции, теоретические и экспериментальные исследования [6, 7, 15] и возникающие осложнения при создании систем ИИ [8, 9] способствуют выдвижению концепции адекватности многозначной логики и структур задачам создания систем ИИ с желаемыми свойствами и возможностями. В частности, универсальные многозначные структуры [10—12, 15] пространственного типа изначально (на микроуровне) обладают максимальным параллелизмом (быстродействием) на уровне элемента структуры, рабо-

тают с многоуровневым сигналом; обладают универсальностью в рамках выбранного структурного алфавита и гибкостью перестройки без изменения самой структуры; реализуют неразрывную связь как многозначного, так и двузначного кодирования, т. е. предоставляют возможность наглядного соотнесения аналоговых и многозначных алгоритмов, закладываемых в операционные, программно-управляющие и запоминающие средства, использующие двузначное кодирование.

Сравнение эквивалентных по функциональным возможностям дву- и многозначных универсальных структур [10, 11] доказывает высокую экономичность и надежность последних при создании технических средств ИИ, а также их широчайшие функциональные возможности. Кроме того, в работах [12, 13] отмечается, что многозначные алгебры Мальцева—Поста (итеративные алгебры функций) в последнее время находят все более широкое применение в кибернетике, теории алгоритмов и программировании, при создании высокоэффективных систем и методов управления базами данных (ассоциативными базами данных).

В этой связи для раскрытия путей использования задела знаний в области многозначного кодирования и структур при создании систем ИИ предлагается концептуальная структурно-функциональная модель ячейки многозначной системы ИИ (рис. 1). Каждая система ИИ характеризуется набором функций, выполняемых ею и узлами, которые реализуют эти функции и информационные обмены. В соответствии с решаемыми задачами структурно-функциональная ячейка распадается на три иерархических уровня: функциональный (аналитико-синтетический); тактический (анализаторно-координационный); стратегический (координационный). Соответственно на функциональном уровне в состав ячейки входит коммутатор многозначных сигналов, комплекс пороговых устройств, дешифраторы промежуточных признаков, формователи многозначных функций. Коммутатор многозначных сигналов служит управляющим устройством по входу системы ИИ, определяющим от какого входного сигнала ей работать: извне или стратегического уровня. Комплекс пороговых устройств позволяет реализовать преобразование непрерывных или дискретных по времени и уровню многозначных входных сигналов в пространство существенно многозначных характеристических функций, семантическую обработку входного сигнала системы, а также формирование пространства промежуточных признаков неоднородного преобразования. Промежуточные признаки (пространство существенно многозначных характеристических функций) дешифрируются далее в управляющие сигналы выходного комплекса формователя многозначных функций, реализующего аналитические функциональные преобразования. Результат преобразований на функциональном уровне поступает на выход ячейки, а также на стратегический уровень для оценки с точки зрения семантического содержания.

Рис. 1. Концептуальная структурно-функциональная модель ячейки многозначной системы ИИ



Тактический уровень системы ИИ в данной модели реализуется с помощью анализаторно-координационного процессора, в задачи которого входит управление коммутатором входных сигналов, настройкой порогов пороговых устройств функционального уровня, дешифраторов промежуточных признаков с целью выбора вида реализуемого функционального преобразования и синхронизации работы тактического, функционального и стратегического уровней. Кроме того, процессор тактического уровня осуществляет функциональные настройки (выбор вида реализуемых многозначных функций) формирователя многозначных функций.

На стратегическом уровне процессор-супервизор позволяет системе ИИ осуществлять окончательный семантический анализ с участием оператора, обмен данными с оператором, входом и выходом данной ячейки, с базой знаний системы, а также контролировать в автоматическом и диалоговом режиме процесс решения задач на тактическом уровне. Последнее дает возможность проследить процедуры реализации произвольного алгоритма на всех этапах его выполнения и, тем самым, осуществить селекцию и накопление в базе знаний эффективных алгоритмов из множества других, менее эффективных.

Ячейка системы ИИ наращивается на функциональном уровне как по входам, так и по выходам, а также объединяется с другими ячейками по входам дешифраторов промежуточных признаков; на тактическом уровне — через анализаторно-координационный процессор; на стратегическом — через процессор-супервизор и базу знаний. Концептуальная модель ячейки системы ИИ базируется на концепции симбиоза (неразрывной связи и взаимодействия) дву- и многозначных средств обработки данных, поэтому на стратегическом уровне в ней содержатся комплексы преобразователей формы представления данных — преобразователи из двузначного кода в многозначный ($2 \rightarrow k$) и обратно ($k \rightarrow 2$). Очевидно, что их использование в системе ИИ определяет, на каком уровне решаются задачи, в какой логике и с каким быстродействием (какова пропускная способность системы ИИ). Кроме того, применение этих средств исключает необходимость работы оператора с двузначными трансляторами при вводе-выводе данных.

Обоснование выбора многозначного кодирования в системах ИИ. Во всех разрабатываемых, описываемых и анализируемых системах ИИ в настоящее время безоговорочно и исключительно используется двузначное кодирование, алгебра логики и соответствующее программное обеспечение. Как альтернатива существует умозрительное направление многозначной логики и структур на ее основе, использующих многоуровневое кодирование и характеризующихся большей степенью общности, в сравнении с двузначным, а также безграничными возможностями в функциональном отношении, но практически мало или совсем неиспользуемое в вычислительной технике и системах ИИ. В настоящей работе предла-

гается не противопоставлять эти два подхода, а по аналогии с естественным интеллектом исследовать возможность симбиоза, который в универсальных многозначных структурах пространственного типа постоянно существует: значность, равная двум, всегда присутствует в многозначных построениях и всегда ими используется, не являясь альтернативой многозначности.

Эта фундаментальная и элементарно простая предпосылка позволяет взглянуть на задачу создания систем ИИ с кардинально других позиций, отслеживается и отрабатывается во всем ее дальнейшем изложении. Как подход к созданию систем ИИ такая концепция позволяет уже сегодня, на основе имеющейся в серийном производстве микроэлектронной элементной базе, в частности параллельных аналого-цифровых преобразователей и многоканальных быстродействующих аналоговых коммутаторов, цифро-аналоговых преобразователей, разрабатывать, создавать и исследовать системы ИИ по структуре, представленной на рис. 1. Причем существующая элементная база не требует никаких доработок и даже наоборот — позволяет снизить требования к допускам по точности в случае ее использования в составе многозначных структур [11].

В задачах разработки и создания многозначных систем ИИ первостепенной является проблема сложности многозначных элементов и структур. С одной стороны, системы ИИ должны обладать предельно высоким быстродействием, достигаемым обычно за счет распараллеливания процессов преобразования информации, с другой — параллелизм обработки приводит к увеличению аппаратных затрат вообще, а в многозначных структурах параллельного (пространственного) типа еще с ростом значности структурного алфавита, в частности. Отсюда автоматически делается вывод о несравнимо большей сложности многозначных структур по сравнению с двузначными и, как следствие их меньшей надежности. Однако результаты исследований [11], сравнимых по логической мощности универсальных многозначных и двузначных структур, показали полную несостоятельность такого вывода. Более того, подробный анализ совокупных свойств многозначных и двузначных структур показывает, что в отношении необходимой вводимой избыточности, обеспечивающей работоспособность структур с произвольным структурным алфавитом, избыточность является неизбежной и не всегда она меньше у двузначных структур.

Оценим, к примеру, по сложности (по уровню вводимой избыточности) двузначные элементы и структуры на основе функционально полного набора элементов И, ИЛИ, НЕ. Базовым в этой оценке в функциональном и схмотехническом отношении является элемент НЕ. Физически логическая функция НЕ реализуется одним транзистором с резистивной нагрузкой в коллекторе. Однако практика показывает [16—19], что элементы типа НЕ, независимо от вида используемой схмотехники и технологии изготовления, обладают существенной аппаратной избыточностью. За

счет этой избыточности достигается определенный уровень быстродействия, нагрузочной способности, надежности, точности и помехоустойчивости в процессе функционирования. Статистическая обработка количественных показателей аппаратных затрат, серийно изготавливаемых ИС [16—19], показывает, что средний уровень вводимой избыточности для серийных ИС, реализующих функцию НЕ, составляет величину порядка 4.

С другой стороны, избыточность структур (аппаратурные затраты сверх логически необходимого количества) с произвольной значностью (в том числе и 2) структурного алфавита может быть оценена с использованием следующей зависимости [11]:

$$\gamma = \frac{1 - \frac{\log_2 P_{\text{ош}}}{m}}{\log_2 k + (1 - e^{-R}) \log_2 \frac{1 - e^{-R}}{k - 1} + e^{-R} \log_2 e^{-R}}$$

где γ — коэффициент необходимой вводимой избыточности структур; m — число информационных разрядов, используемых

при передаче заданного объема сообщения; $R = k\lambda_0 t$, здесь k — значность структурного алфавита; λ_0 — интенсивность структурных отказов; t — время безотказной работы.

Полученная отсюда зависимость $\gamma = f(\lambda_0, k)$ для $k=2, 4, 8$ и 16 ; $P_{\text{ош}}=10^{-4}$; $t=10^6$ ч и $\lambda_0=10^{-5} \dots 10^{-8}$ 1/ч приведена на рис. 2 и подтверждает необходимость введения избыточности для обеспечения работоспособности структур при любом значении значности структурного алфавита. К примеру, для нашего случая избыточности $\gamma = 4$ схем НЕ определим на графике (см. рис. 2) точки пересечения с соответствующими кривыми. В результате гарантию работоспособности при двух уровнях

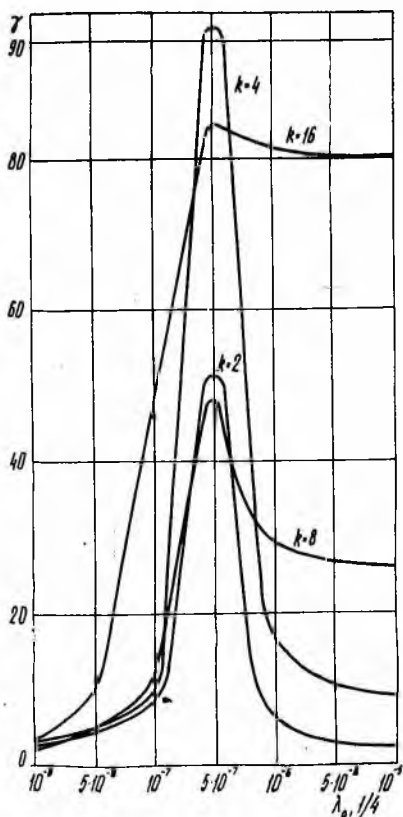


Рис. 2. Зависимость уровня вводимой избыточности от интенсивности структурных отказов

структурных отказов $\lambda_0 = 1,2 \cdot 10^{-6}$ 1/ч — при $k=2$; $2,5 \cdot 10^{-8}$ при $k=16$; $\lambda_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ 1/ч — при $k=2$ и 8; $\lambda_0 = 7,5 \cdot 10^{-8}$ 1/ч — при $k=4$, т. е. при низких значениях λ_0 равновозможно использование того или иного структурного алфавита в зависимости от требуемых свойств самих структур, с ростом же интенсивности структурных отказов до $\lambda_0 = 10^{-6}$ 1/ч целесообразно использование двузначных структур. Соответственно при $\lambda_0 = 10^{-6}$ 1/ч зависимость относительного увеличения коэффициента γ с ростом k представляет собой следующую последовательность:

k	2	4	8	16
γ_2/γ_1	1	2,5	5,5	16.

Как видно, необходимая вводимая избыточность для обеспечения работоспособности систем ИИ, при $\lambda_0 = 10^{-6} \dots 10^{-5}$ 1/ч, увеличивается с ростом k , но это вовсе не определяет неизбежность снижения надежности, с одной стороны, только для многозначных структур, а с другой — когда $\lambda_0 = 10^{-7} \dots 10^{-8}$ 1/ч, вводимая избыточность сравнима для всех структур, а для ряда значностей, к примеру для $k=4$ и 8, она ниже, чем для двузначных, при одинаковом уровне работоспособности. Отсюда неочевидный на первый взгляд вывод: установка на минимизацию аппаратурных затрат многозначных структур до уровня сложности базовых элементов двузначных структур — необоснована и, в конечном счете, неверна. Негативное влияние необоснованной минимизации аппаратурных затрат многозначных структур и необоснованный выбор двузначного кодирования проявились в прикладных аспектах двояко. С одной стороны, это безуспешный до настоящего времени поиск простейших схемных решений базовых элементов функционально полных систем функций многозначной логики, приводящий к потере работоспособности многозначных структур и веры у разработчиков в осуществимость систем и структур с многозначным структурным алфавитом. С другой — низкой параллелизм, гибкость и пропускная способность двузначных структур, не позволяющая как на аппаратном, так и на программном уровнях создавать системы ИИ с требуемыми свойствами. Таким образом, абсолютная установка на использование двузначного кодирования и структур, а также на минимизацию сложности многозначных структур является концептуальной ошибкой нулевого порядка, когда изначально поставлена в неразрешимое противоречие сложность решаемой задачи создания систем ИИ со сложностью средств, которые эту задачу должны решать. Выходом из этого тупика, очевидно, является использование симбиоза дву- и многозначного кодирования и структур, базирующегося на принципе достаточной сложности создаваемых систем ИИ.

Список литературы: 1. Ридер К., Хаббл Л. Направление развития видеодисплейных систем//ТИИЭР. 1981. 69. № 5. С. 134—145. 2. «Союз-22» исследует Землю. М., 1980. 231 с. 3. Эндрю А. Искусственный интеллект. М., 1985. 264 с. 4. Реальность и прогнозы искусственного интеллекта. М., 1987. 247 с. 5. Мичи Д.,

Джонстон Р. Компьютер — творец. М., 1987. 255 с. 6. Глезер В. Д. Зрение и мышление. Л., 1985. 246 с. 7. Бехтерева Н. П., Гололицын Ю. Л., Кропотов Ю. Д. Нейрофизиологические механизмы мышления: Отражение мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. Л., 1985. 272 с. 8. Каляев А. В., Каляев И. А. Принципы организации многопроцессорных систем управления интеллектуальных роботов с перестраиваемой архитектурой//Электрон, моделирование. 1987. № 1. С. 81—82. 9. Каляев А. В., Чернухин Ю. В. Нейроноподобные моделирующие и вычислительные структуры//Электрон, моделирование. 1986. № 2. С. 3—9. 10. Надежность многозначных структур/В. В. Григорьев, А. Б. Кметь, З. Д. Коноплянок и др. К., 1981. 157 с. 11. Коноплянок З. Д. Сравнительный анализ надежности универсальных двузначных и многозначных структур//Рук. деп. в ВИНТИ, № 8035-В от 21.11.85 г. 21 с. 12. Мальцев А. И. Итеративные алгебры Поста. Новосибирск. 1976. 100 с. 13. Трохименко В. С. Характеристика некоторых алгебр функций многозначной логики//Кибернетика. 1987. № 3. С. 63—67, 80. 14. Абу-Мустафа Я. С., Псалтис Д. Оптические нейронно-сетевые компьютеры//В мире науки. 1987. № 5. С. 42—52. 15. Самоорганизация в технических системах/Кузнецова В. Л., Раков М. А. К., 1987. 200 с. 16. Интегральные микросхемы/Под ред. Б. В. Тарабрина. М., 1984. 528 с. 17. Справочник по интегральным микросхемам/Под ред. Б. В. Тарабрина. М., 1977. 584 с. 18. Агаханян Т. М. Интегральные микросхемы. М., 1983. 270 с. 19. Алексеенко А. Г., Шагури И. И. Микросхемотехника. М., 1982. 416 с.

Поступила в редколлегию 31.10.88

УДК 681.3.06(025.4.036.007)

А. И. ХАЛИЛОВ, канд. физ.-мат. наук, Г. А. КАЛАНТАРОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ускорение научно-технического прогресса, перестройка хозяйственного механизма и управления на основе экономических методов предполагают широкую и всестороннюю компьютеризацию всех сфер человеческой деятельности. Быстрое увеличение количества и разнообразие решаемых с помощью ЭВМ задач, расширение классов пользователей, с одной стороны, и широкий спектр вычислительной техники от микропроцессоров до супер-ЭВМ — с другой, с новой силой ставят вопросы повышения надежности, производительности и эффективности использования вычислительной техники. В связи с этим возникает необходимость обобществления и коллективного использования технических, программных и информационных средств.

Наряду с техническими и организационными аспектами этой проблемы обретает все большую актуальность технологический аспект, связанный, с одной стороны, с методами разработки систем коллективного пользования, а с другой — с проблемами организации вычислительного процесса, определения и поддержания оптимального режима функционирования вычислительного комплекса с весьма гибкой и динамичной дисциплиной обслуживания.

Это, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к структуре и принципам организации программного инструментария и информационного фонда системы коллективного пользования (СКП). Ориентация СКП на обслуживание пользователей различных категорий (от системных программистов до «компьютерно безграмотных») на высоком уровне обуславливает необходимость повышения интеллектуального уровня системы.

Широкий класс применений СКП требует от нее высокой степени гибкости и адаптируемости, надежности, быстрой реакции. Технический комплекс может включать различные ЭВМ, объединенные в многопроцессорные вычислительные системы, сетевую архитектуру, сочетающую индивидуальное пользование с коллективным доступом с передачей данных и управляющих воздействий по каналам связи. Управление системой должно обеспечивать функционирование системы в режимах пакетном, мультипрограммном, мультиобработки и реального времени, а операционные и инструментальные программы — предоставлять пользователю развитые, простые и удобные языковые и сервисные средства. Информационные средства должны обеспечить каждого пользователя необходимыми данными с достаточной степенью оперативности, защитить данные от несанкционированного доступа, обеспечить их актуализацию и целостность. Они должны быть, с одной стороны, обобществленными (интегрированная база данных), а с другой — оперативно расщепляемыми и распределяемыми по устройствам и подсистемам для локальной обработки.

Таким образом, говоря об СКП, наряду с известными проблемами распараллеливания программ, диалогового обеспечения, проектирования баз данных и баз знаний и т. д., возникает проблема их комплексного решения в рамках единой технологии разработки и функционирования интерактивной системы коллективного пользования параллельного действия (ИСКППД).

В общем случае мы имеем дело с тремя множествами взаимодействующих систем: $\{\Sigma\}$ — множество систем коллективного пользования; $\{M\}$ — множество предметных областей; $\{O\}$ — множество операционных сред (систем), в которых функционируют $\{\Sigma\}$ над $\{M\}$.

С точки зрения технологической производственной вычислительной системы имеет место задача минимизации размерности множества $\{\Sigma\}$ (унификация Σ) при максимуме размерности множества $\{M\}$ (адаптируемость Σ к M) и инвариантности Σ по отношению к O .

К настоящему времени разработано и функционирует немало систем коллективного пользования, сотни диалоговых систем. Известны интересные результаты, связанные с модульным и структурным проектированием и программированием. Получены важные теоретические и практические результаты в области параллельного программирования и мультиобработки информации. Проблема автоматического распараллеливания программ далека

от решения, разработанные методы и приемы являются статическими, могут быть эффективны для частных достаточно специальных приложений. Практически отсутствуют методы, приемы и системы для динамического распараллеливания и управления вычислительным процессом. Однако отсутствует технология, объединяющая интересные и эффективные сами по себе методы и принципы применительно к универсальным СКП, учитывающая в должной мере естественный параллелизм процессов и использующая для этой цели знания пользователя в своей предметной области, его навыки и опыт (кроме, может быть, на статическом уровне).

Исследования в области создания СКП показывают, что для удовлетворения упомянутых требований они должны обладать свойствами, которые обобщенно можно назвать параметричностью, мультипликативностью, коммуникабельностью и интеллектуальностью.

В данной работе рассматривается технология разработки и функционирования ИСКППД, включающая: общие принципы организации СКП, методы анализа и реорганизации иерархических структур, методы статического распараллеливания и оптимизации программ, методы и средства создания диалоговых систем, методы организации данных, средства представления знаний и элементов искусственного интеллекта, принципы диалогового распараллеливания программ и вычислительного процесса, принципы моделирования вычислительной среды СКП.

Структурная организация ИСКППД основывается на структурно-базовом методе, являющемся обобщением, дальнейшим развитием и технологическим сочетанием методов структурного и модульного проектирования и программирования, методов структурирования данных, концепций баз данных, методов организации программ с использованием концепции баз данных, методов иерархической декомпозиции системы, принципа максимальной (формальной, функциональной, процедурной) независимости элементов системы друг от друга, принципов унификации управляющих процессов, инвариантности методов их реализации по отношению к предметной области, функциональным (прикладным) процессам и уровням иерархии, принципа минимальности базовых структур данных и типов процедур их обработки.

Структурно-базовый метод составляет основу обсуждаемой технологии.

В соответствии со структурно-базовым методом СКП представляется как тройка компонент $\Sigma = \langle \Phi, \Psi, M \rangle$, где Φ — интерфейс системы с внешней средой; Ψ — компонента управления системой; M — модель предметной области.

В диалоговых системах Φ может быть представлена как

$$\Phi = \bigcup_{i=0}^N \Delta_i.$$

Здесь N — количество категорий пользователей; Λ_i — язык пользователя i -й категории ($i=1, 2, \dots, N$); Λ_0 — язык администратора системы.

Компонента Ψ , в свою очередь, представляется тройкой

$$\psi = \langle L, S, M \rangle,$$

где L — язык взаимодействия с управляющей компонентой, включающий подмножество языковых средств конечных прикладных пользователей (L_n) и языковые средства разработчиков (L_p); S — резидентная программа управляющей компоненты; M — модель управляющей компоненты, содержащая различные требования к параметрам ее функционирования (режим работы, объем и количество БД, время реакции и т. д.), средства их реализации в виде множества модулей, каждая из которых реализует некоторую системную функцию.

Компонента M включает базу данных E , базу отношений Ω между элементами E и базу алгоритмов (законов, правил) A взаимодействия элементов базы отношений Ω и, быть может, БД E , т. е.

$$M = \langle \Theta, \Omega, A \rangle.$$

БД, в свою очередь, может состоять из БД объекта E_0 и БД среды E_c .

Такая концептуальная декомпозиция применима к каждому составляющему элементу системы на каждом уровне иерархии, обеспечивает простоту структуры системы, единообразие управляющих процессов, удобство адаптации к предметной области и широкие возможности представления знаний об объекте.

В качестве метода анализа и реорганизации иерархических структур рассматривается метод последовательного углубления (МПУ). Суть МПУ состоит в следующем.

Пусть $A = \{A_{i_1 i_2 \dots i_n}\}$ — частично упорядоченное множество иерархической структуры ($k=1, 2, \dots, n$ — уровень иерархии, i_k — порядковый номер элемента на k -м уровне иерархии). На A определено некоторое отношение порядка δ из множества Δ допустимых на A отношений.

Обозначим через $S(A_{i_1 i_2 \dots i_n})$ составляющее множество элемента $A_{i_1 i_2 \dots i_n}$, а через $f(i_1, i_2, \dots, i_n)$ — количество элементов в этом множестве (для самого верхнего уровня $f(i_1) = m$, для терминального элемента — 1). Пусть множество A анализируется на истинность некоторого предиката $p_i \in P = \{p_i\}$. Предикат p_0 назовем управляющим, а $p_i (i=1, 2, \dots, m)$ — функциональными. В случае истинности функционального предиката p_i выполняется некоторая процедура $q_j (j=1, 2, \dots, k)$ из множества процедур $Q = \{q_j | j=0, 1, \dots, k\}$, где q_0 — управляющая процедура выбора, определяющая соответствие между p_i и q_j . Выполняется следующий алгоритм:

- 1) для $\{A, i_1=1, 2, \dots, m\}$ выполнить \bar{P} ;
- 2) для i_1 от 1 с шагом 1 до m выполнить: если $f(i_1) > 1$, для $\{A_{i_1}, i_2=1, 2, \dots, f(i_1)\}$ выполнить \bar{P} ; ... n) для i_1 от 1 с шагом 1 до m выполнить: если $f(i_1) > 1$, для i_2 от 1 с шагом 1 до $f(i_1)$ выполнить: если $f(i_1, i_2, \dots, i_{n-1}) > 1$, для $\{A_{i_1, i_2, \dots, i_n} | i_n = 1, 2, \dots, f(i_1, i_2, \dots, i_{n-1})\}$ выполнить \bar{P} , где $\bar{P} = \{p_0, p_1, q_0, q_j\}; i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, k$.

Метод МПУ представляет собой простой и весьма удобный инструмент анализа и обратимого преобразования иерархических структур. При его использовании для анализа и преобразования структур программ свойство обратимости гарантирует функциональную эквивалентность исходной и производной структур.

Применение МПУ состоит в определении A, Δ, P, Q для конкретного приложения.

В данной работе представлено использование МПУ для распараллеливания программ на уровне выражений, операторов и процедур.

Для оптимизации параллельных программ используется метод весовых функций, программные средства инвариантного табличного интерфейса (ИТИ) и средства диалогового обеспечения.

Представление модели предметной области в виде БД, базы отношений и базы алгоритмов (законов, правил) способствует эффективности конструирования сценариев диалога для различных приложений. Модель диалога представляется в виде множества схем вычислений (схем диалога), каждая из которых описывается ориентированным взвешенным графом: $S = \langle Q, R \rangle$, где Q — множество узлов; $R \subseteq Q \times Q$ — множество ребер графа.

Узлам графа соответствуют переходы к подграфам более низкого уровня или моменты взаимодействия пользователя с ЭВМ.

В целях более полной реализации свойства независимости компонент системы и обеспечения более широкой возможности создания интегрированных систем удобно рассматривать в диалоговой системе не модули, а процессы.

Можно выделить три уровня иерархии процессов: системных, функциональных и уровень функциональных программных модулей.

При разработке архитектуры диалогового процесса за основу принят тезис о том, что существует некоторая фиксированная последовательность действий, выполняемых управляющим модулем этого процесса в узлах графа. Такая последовательность не зависит от специфики предметной области, что является предпосылкой для повышения степени универсальности управляющего модуля диалогового процесса. Управление ходом диалогового процесса осуществляется этим модулем в соответствии со структурой конкретной схемы диалога.

Информация о структуре диалоговых схем представляет собой одну из компонент модели предметной области, хранится в специальных файлах БД и сопровождается по единой технологии

с проблемными данными. Для хранения этой информации в БД используются фреймовые структуры следующего вида:

\langle номер фрейма \rangle

F \langle справочное сообщение \rangle

P_1 \langle описатель параметра — 1 \rangle

P_m \langle описатель параметра — m \rangle

R_1 \langle предикат — 1 \rangle \langle имя модуля \rangle \langle номер фрейма \rangle

R_k \langle предикат — k \rangle \langle имя модуля \rangle \langle номер фрейма \rangle

Выделение диалоговых функций, общих для различных приложений, в отдельный элемент СКП позволяет представить реализующий его программный комплекс в виде семи основных компонент, обеспечивающих реализацию многих из изложенных выше концепций создания ИСКППД. К этим компонентам относятся: управление терминалами, функциональными процессами, управленными данными и диалогом, инструментарий разработчика диалоговых систем, инвариантный табличный интерфейс, инструментарий распараллеливания программ и данных. Компонента управления терминалами обеспечивает обмен сообщениями между ЭВМ и терминалами системы таким образом, что обеспечивается независимость системы от физических характеристик терминалов, которые представляются на логическом уровне в виде файлов входных и выходных сообщений.

Каждому активному терминалу соответствует отдельный пользовательский функциональный процесс, в рамках которого ведется диалог пользователя с системой. Компонента управления функциональными процессами обеспечивает разделение ресурсов системы между пользователями, работающими в режиме коллективного доступа.

Для каждого приложения составляется сценарий диалога, управление реализацией которого осуществляет компонента управления диалогом (диалоговый монитор).

Создание и корректировка описаний схем диалога осуществляется посредством специального комплекса программ разработчика диалоговых систем. Для создания схемы задается ее дескриптор с общей информацией о схеме диалога и ее параметрами и дескрипторы состояний, содержащие информацию о действиях, выполняемых в этом состоянии.

Возможны следующие типы состояний: управляющее U , информационное I , информационно-управляющее C , форматное F , вычислительное V , макросостояние M .

Макросостояние дает возможность выйти из данной схемы диалога, войти в другую схему, по завершении которой осуществляется возврат в точку выхода из первой схемы.

Организация информационной базы ИСКППД предполагает наличие средств интегрированной и распределенной обработки данных. Такую возможность представляет мультибазовая структура (МБД), которая применительно к реляционной БД может

быть представлена в виде схемы МБД $\underline{\Omega}(L)$ и набора структур функциональных зависимостей $\{(B(L_i), F_{2_i})\}$, где $\underline{\Omega} = \{\Omega_i | i = 1, 2, \dots, k\}$ — множество элементов МБД-совокупностей отношений вида

$$\Omega_i = \{R_l | l = \{q_i^1, \dots, \{q_i^m + 1\}\}, q_i \in \{1, 2, \dots, m\};$$

$L = \{L_i\}$ — множество множеств $I_i = \{L_{2_i}\}$ совокупностей $L_{q_i} = \{A_{R_i}\}$ атрибутов A_{R_i} ; $B(L_i)$ — булеан множества L_i ; F_{2_i} — множество наборов $\{F_{R_i}\}$ функциональных зависимостей между R_i и их элементами; Ω_p и Ω_q ($p, q = 1:k$) — процедурно независимы $(\Omega_p) \perp (\Omega_q)$.

Для манипулирования данными МБД, кроме известных операций реляционной алгебры, вводятся две обобщенные операции: μ — разбиения и \cup — объединения.

Фреймовая технология, специальные средства конструирования диалога и структурно-базовый метод в своем органическом сочетании представляют принципиально новые возможности разработчику СКП, а именно — удобные средства создания базы знаний и обращения к системам логического вывода для включения в СКП элементов искусственного интеллекта. В рассматриваемой технологии необходимые знания и средства логического вывода естественным образом сосредоточиваются в точках общения человека и системы (в узлах сети, иерархической структуры, состояниях диалога). Эти же средства в сочетании со средствами логического вывода (например, системы ПРОЛОГ) создают достаточно приемлемую среду для разработки экспертных систем самой различной ориентации.

Под искусственным интеллектом здесь мы понимаем «умение» системы воспринимать, накапливать и представлять новые знания в данной прикладной области, которые ранее ей (системе) не были известны независимо от того, были ли они известны другим системам или людям.

Для адаптируемости и живучести СКП важное значение имеет свойство инвариантности. Имеется в виду инвариантность механизма, процедур, методов управления в самой системе по отношению к базам данных, знаний и программ, к методам и процедурам организации и обработки данных, к предметной области и среде; инвариантность внутреннего представления данных по отношению к внешней среде; инвариантность средств доступа к данным и манипулирования ими по отношению к модулям и структуре данных и СУБД; инвариантность средств представления данных пользователю от структуры их внутреннего представления и т. д.

Применение концепции баз данных к базам программ, возможность представления знаний, диалоговые средства, ориентированные на различные классы пользователей, фреймовая технология, наличие удобных средств представления данных пользователю, наличие множества специализированных методов распараллеливания программ; свойства инвариантности и адаптируемости

ИСКППД по отношению к предметной области создают предпосылки и для развития нового направления в параллельном программировании—диалогового распараллеливания программ и обобщения его — диалогового распараллеливания вычислительного процесса (или процесса обработки информации).

Такое направление обусловлено рядом факторов. Существующие методы и средства распараллеливания обеспечивают статический параллелизм на языковом или процедурном уровне.

Они специализированы, эффективны для предопределенного класса приложений. Методы автоматического распараллеливания также носят характер предобработки (близки к статическим) и эффективны для специальных приложений.

Как правило, системы автоматического распараллеливания сложны и нередко накладные расходы значительно превышают выигрыш от распараллеливания. Эта сложность в основном обусловлена сложностью представления в ЭВМ естественной для человека логики, трудно формализуемой, основанной на знании предметной области, опыте, часто на интуиции.

В настоящее время отсутствуют эффективные операционные средства управления параллельным вычислительным процессом в таких универсальных и высоко динамических системах, как ИСКППД.

Рассматриваемая модель ИСКППД представляет средства для эффективного и гибкого диалогового (полуавтоматического) распараллеливания вычислительного процесса как на уровне его проектирования, так и на уровне выполнения.

Эффективность ИСКППД предполагает не только эффективность ее компонент, используемых при ее разработке методов и средств. Эта эффективность не есть арифметическая сумма эффективности компонент. Важное, в значительной мере определяющее, значение имеет полнота состава этих компонент и система их взаимодействия.

Для эффективного функционирования ИСКППД необходимо наличие модели самой системы, включающей базу о составе технических средств и их характеристики, об их состоянии, знание о пользователях, об их задачах и потребностях в услугах системы, о ресурсах, необходимых для нормального прохождения в системе всех функциональных, системных, сервисных и других процессов.

Перечисленные данные и знания образуют нормативную базу, на которой основывается моделирование процессов в системе с целью определения оптимальных режимов функционирования в зависимости от ситуации.

Основные свойства, технология, методы и средства конструирования ИСКППД, изложенные выше, реализованы в Диалоговой Системе Управления программными модулями и их информационными сообщениями (ДИСУМ), разработанной в НПО «Горсистемотехника».

Поступила в редколлегию 22.08.88

С. Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, И. Ю. ШУБИН, Е. В. ЯВТУШЕНКО

ОБ АЛГОРИТМЕ ВЫРАЖЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ТОЛЕРАНТНОСТИ ЧЕРЕЗ ОТНОШЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Пусть имеется множество $T = \{1, 2, \dots, n\}$ и бинарное отношение ρ над элементами этого множества. Если для любого $i \in I$ отношение ρ рефлексивно и симметрично для любых $j, k \in I$, то говорят, что на множестве I задано отношение толерантности. Если к тому же имеет место транзитивность, т. е. $\rho(i, j) = 1 \ \& \ \rho(i, k) = 1$ влечет $\rho(i, k) = 1$, то говорят, что на множестве I задано отношение эквивалентности.

Моделью отношения толерантности на I может служить неориентированный граф $G(I, R)$ с n вершинами без кратных ребер, в котором каждая вершина имеет петлю, а вершины j и k связаны ребром тогда и только тогда, когда в отношении толерантности $\rho(j, k) = 1$, этот граф может быть и несвязным.

Моделью отношения эквивалентности на множестве I может служить набор полных графов (с петлями для выражения рефлексивности), где снова вершины j, k связаны ребром, если и только если $\rho(j, k) = 1$. Объединение вершин, входящих в полные подграфы равно I , каждая вершина входит только в один нерасширяемый подграф полный J , т. е. подграфы не соединены между собой.

Имеет смысл рассматривать только те отношения толерантности на I , где соответствующий граф-связный (иначе задача факторизуется и нужно рассматривать каждый фактор отдельно). Условимся для простоты не учитывать петель графа, считая по умолчанию, что они есть (если интерпретировать на графе отношение ρ как «доступность за один шаг», то это все равно, что считать вершину i доступной из самой себя).

После принятия этих условий отношение толерантности не задается неориентированным связным графом без кратных ребер и петель; в дальнейшем будем рассматривать только такие графы.

Рассмотрим следующий пример. Отношение толерантности задано графом, представленным на рисунке. Выразить его как дизъюнкцию отношений эквивалентности так, чтобы все отношения (ребра), принадлежащие G , вошли, по меньшей мере, в одно E . Это можно сделать многими способами, например:

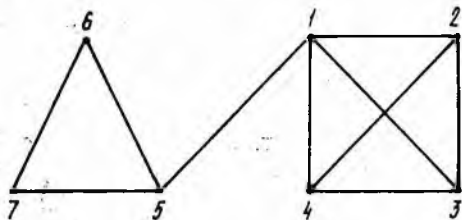
$$1) \ G(1-7) = J(5, 6, 7) \vee J(1, 5) \vee J(1, 2, 3) \vee J(1, 2, 3, 4);$$

$$2) \ G(1-7) = J(5, 6, 7) \vee J(1, 5) \vee J(2, 3) \vee J(1, 3) \vee J(1, 3) \vee J(1, 3, 4) \vee J(1, 2);$$

$$3) \ G(1-7) = J(5, 6, 7) \vee J(1, 5) \vee J(1, 2, 3, 4).$$

Способы 1 и 2 неэффективны тем, что в сумму справа входят расширяемые клики, и одни и те же ребра повторяются, поэтому в них много слагаемых. Нам желательно найти способ 3, где все клики нерасширяемы и ребра не повторяются.

Таким образом, задача сводится к следующей: дан граф, найти покрытие всех ребер минимальным числом клик.



Граф

Данная задача является *NP*-полной задачей [1], кроме того, она тесно связана с другой известной *NP*-полной задачей о нахождении максимальной клики. Поэтому искать простой (полиномиальной сложности) алгоритм для точного решения данной задачи не имеет смысла.

Вообще *NP*-полные задачи все равно приходится решать, и в последнее время для их решения получено достаточно много приближенных алгоритмов, так что *NP*-полные задачи можно классифицировать по признаку существования алгоритмов их решения, обеспечивающих разумную относительную погрешность

$$\Delta = \frac{|f_p - f_0|}{|f_0|}, \quad (1)$$

где f — функционал, получаемый приближенным алгоритмом — ОПТИМУМ. В этом отношении *NP*-полные задачи можно классифицировать как плохие, средние и хорошие.

Плохие задачи — это те, для которых не существует простых алгоритмов, которые могли бы обеспечить точность $\Delta \leq h$, где h — сколь угодно большая константа. Такой задачей является, например, задача коммивояжера [2].

Средние — это задачи, для которых существуют алгоритмы, гарантирующие точность $\Delta \leq h$, где h — некоторая константа. Такой является задача о минимальном вершинном покрытии [3], ($h=2$).

Хорошие задачи — это те, для которых можно указать любое $\epsilon > 0$ и простой алгоритм, обеспечивающий точность $\Delta \leq \epsilon$. Примером хорошей задачи служит задача о ранце [3].

Известно, что задача о максимальной клике не является хорошей. Гэрри и Джонсон [5] доказали, что если бы задача о максимальной клике была средней, с $h \geq 1$, то она была бы хорошей.

Таким образом, решение с точностью $\Delta < 1$ невозможно. Это означает, что задача о максимальной клике является либо плохой, либо средней, но с $h \geq 1$. Кроме того, не известно ни одного метода, который бы гарантировал постоянную оценку точности в задаче о покрытии всех ребер графа минимальным числом клик.

Поскольку нет никаких алгоритмов, точность которых оценивалась бы константой, а не возрастающей функцией от n , мы

применим для решения нашей задачи алгоритм, являющийся обобщением алгоритма, описанного в [6].

Для описания алгоритма введем некоторые обозначения. Подграф графа $G(I, R)$, который содержит вершины из множества J , $J \subseteq I$, и все ребра из R , инцидентные вершинам из J , будем обозначать $G(J)$. $\Gamma_i(J)$ — это множество всех вершин, соседних с i в графе $G(J)$ (соседними являются две вершины, если они соединены ребром). Через $R(C)$ будем обозначать все ребра, образующие клику $G(J)$.

Алгоритм: A_1 :

1°. $J := I$, $m := |R|$ (где $|R|$ — обозначает число элементов в множестве R).

2°. $C := \emptyset$.

3°. Найти в $G(J)$ вершину максимальной степени (степень вершины — количество инцидентных ей ребер). Пусть это j_0 .

4°. $C := C \cup \{j_0\}$, $J := \Gamma_{j_0}(C)$, если $J = \emptyset$, то перейти к шагу 3°.

5°. Выдать C ; $\gamma := |C|$; $m := m - \gamma(\gamma - 1)/2$, если $m = 0$, то конец.

6°. $R := R/R(C)$; $J := J/J(C)$ {множество всех изолированных вершин}, перейти к 2°.

Алгоритм неплохо зарекомендовал себя в практических вычислениях. Он реализован на микроЭВМ.

Замечание. В примере решения задачи для графа, изображенного на рисунке, если бы на шаге 3° первого прохода была выбрана вершина 5, то алгоритм выдал бы те же клики, но в порядке $\{1, 5\} \rightarrow \{1, 2, 3, 4\} \rightarrow \{5, 6, 7\}$. Если решать этим алгоритмом (обрывая его на выдаче C , шаг 5°) задачу о нахождении максимальной клики, то можно было бы получить клику либо из четырех вершин, либо из двух. Но при решении поставленной нами задачи склонность алгоритма к локальным ошибкам сказывается в меньшей степени.

Список литературы: 1. Тери М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М., 1982. 215 с. 2. Пападимитру Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация: Алгоритмы и сложность. М., 1985. 170 с. 3. Sahni S., Gonzales T. P-Complete Approximation Problems. ASM. 1976. № 23. P. 555—565. 4. Ibarra O. H., Kim C. E. Fast Approximation Algorithms for the Knapsack and Sum of Subset Problems. ASM. 1975. № 22. P. 463—468. 5. Garly M., Johns D. The Complety of Near-Optimal Graph Coloring. ASM. 1978. № 25. P. 499—508. 6. Johnson D. Approximation Algorithms for Combinatorial Problems. I. Comp. Systems. 1974. № 9. P. 256—278.

Поступила в редколлегию 23.01.89

УДК 621.391

В. А. МАКУХА, Г. Д. ФРОЛОВ

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСПОЗНАВАНИЮ ДИСКРЕТНОЙ КЛИППИРОВАННОЙ РЕЧИ

Речевой диалог в человеко-машинной среде становится все более актуальным в связи с развитием микропроцессорного производства. Неотъемлемой частью ЭВМ пятого поколения является «интеллектуальный терминал», осуществляющий ввод команд

управления вычислительным или каким-либо иным процессом с голоса человека. Решение проблемы распознавания речевых образов далеко от завершения, однако анонсируемые результаты в отечественной и зарубежной литературе [1—5] свидетельствуют о значительных успехах.

Сами системы распознавания речи условно можно разделить по методу первичной обработки сигнала на три группы: спектральный анализ, линейное предсказание и анализ клипированного сигнала. Первые два подхода требуют, как правило, наличия довольно сложного аппаратного интерфейса со специализированными БИС и мощными ЭВМ. Для получения клипированного сигнала аппаратно-программные средства минимальны, причем клипированная речь разборчива и, следовательно, достаточно информативна.

Основной проблемой в практических задачах распознавания слуховых образов является выбор пространства признаков и метода выделения информативных признаков классов объектов (микрофоном, фонем, слогов, слов и т. д.). Методы статистического анализа данных при обработке признаков объектов (см., например, [6]) в приложении к задачам распознавания не всегда приводят к желаемым результатам на заключительном этапе принятия решения о принадлежности объекта к одному из заданных классов с необходимой надежностью.

В статье излагаются возможный способ формирования пространства признаков, метод выделения эталонов фонетических объектов на основе теоретико-множественного понятия опорного множества и формирования решающего правила.

Пусть $A = \{a\}$ — множество изучаемых объектов; $S = \{s\}$ — множество описаний объекта; $X = \{x\}$ — пространство признаков; $U = \{u\}$ — множество решений. Тогда задачу распознавания сформулируем следующим образом: найти преобразование $\Phi: A \rightarrow U$, имеющее минимальный процент ошибок распознавания, если

$$\Phi = \Phi_2 \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_0, \quad (1)$$

где $\Phi_0: A \rightarrow S$, $\Phi_1: S \rightarrow X$, $\dim S > \dim X$, $\Phi_2: X \rightarrow U$.

Клипированная речь. Пусть $a = a(t)$, $a \in A$ — некоторое акустическое сообщение, наблюдаемое в течение времени T . Рассмотрим двоичную последовательность $\{y_i\}$, определяемую на временной сетке $t_i = i\delta$:

$$y_i = \theta(a(t_i)), \quad i = 1 \div n, \quad n = \text{int}(T/\delta). \quad (2)$$

Здесь $\theta(\cdot)$ — функция Хевисайда; δ — период опроса канала ввода сигнала; $\text{int}(\cdot)$ — функция целой части числа. По последовательности $\{y_i\}$ определим последовательность $\{s_j\}$, каждый элемент которой есть количество нулей (единиц) между соседними единицами (нулями). Преобразование $\Phi_0: A \rightarrow S$, где $S \subset m$, m — пространство ограниченных последовательностей действительных чисел, причем $s_j \in N$, $\{s_i\} = \Phi_0(a(\cdot))$ называют клипированием речевого сигнала.

Пространство признаков. Будем считать, что последовательность $\{s_j\}_{j=1}^N$, отвечающая некоторому речевому сообщению $a = a(t)$, разбита на последовательности, соответствующие выбранной фонетической единице измерения: микрофонема, фонема и т. д.

Далее под обозначением $\{s_j\}_{j=1}^n$ будем понимать именно фрагмент $\{s_j\}_{j=n_1}^{n_2}$, соответствующий фонетической единице.

Опишем два возможных преобразования $\Phi: S \rightarrow X$.

А. Пусть $[\alpha_i, \beta_i]$, $i \in I$ — конечное покрытие положительной полуоси вещественной прямой, т. е. $R_+^1 = \bigcup_{i \in I} [\alpha_i, \beta_i]$, $\text{CARD } I = M$.

Зафиксируем это покрытие. Статистическим портретом фонетической единицы $\{s_j\}_{j=1}^n$ назовем M -мерный вектор $X = (X_1, \dots, X_M)$:

$$X_i = n_i/n, \quad i = 1 \div M, \quad (3)$$

где $n_i = \sum_{j=1}^n \chi_{[\alpha_i, \beta_i]}(s_j)$, $\chi_{[\alpha_i, \beta_i]}(\cdot)$ — характеристическая функция множества $[\alpha_i, \beta_i]$. Мету несходства двух портретов X и \tilde{X} , соответствующих $s = \{s_j\}_{j=1}^n$, $\tilde{s} = \{\tilde{s}_j\}_{j=1}^n$, определим стандартно:

$$d_p^A(s, \tilde{s}) = d_p^A(X, \tilde{X}) = \left(\sum_{i=1}^M |x_i - \tilde{x}_i|^p \right)^{1/p}, \quad p \in \{1, 2\}. \quad (4)$$

Естественно считать признаком компоненты вектора, определяемого соотношением (3).

Визуальный анализ статистических портретов большинства фонем русского языка показал их сильную зависимость от ближайшего окружения.

Б. Будем считать, что последовательность $s = \{s_j\}_{j=1}^n$ можно разбить на подпоследовательности s^1, \dots, s^m , элементы каждой из которых в совокупности образуют период тона, т. е. $s^i = \{s_j^i\}_{j=1}^{n_i}$, $i = 1 \div m$, $s_j^i = s_k$, $k = \sum_{l=1}^i n_{l-1} + j - 1$, $\sum_{i=1}^m n_i = n$, $n_0 = 0$.

Рассмотрим две соседние подпоследовательности s^1 и s^2 .

Обозначим $q^i = \sum_{j=1}^{n_i} s_j^i$, $i = 1, 2$ и преобразуем члены этих последовательностей:

$$\tilde{x}_j^i = \sum_{k=1}^j s_k^i / q^i, \quad j = 1 \div n_i, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

На промежутке $(0, 1]$ определим функции $f^i(0, 1] \rightarrow \{0, 1\}$, $i = 1 \div 2$ по правилу

$$f^i(x) = \begin{cases} 1, & (\exists j: j = 2 \cdot k - 1, k \in N) \text{ и } (x \in (\tilde{x}_{j-1}^i, \tilde{x}_j^i)), \\ 0, & \end{cases} \quad (6)$$

в противном случае, где $x_0^i = 0, i = 1, 2$. Тогда меру несходства двух последовательностей s^1 и s^2 определим как

$$d^B(s^1, s^2) = \int_0^1 |f^1(x) - f^2(x)| dx. \quad (7)$$

Очевидно, что последовательность $s = \{s_j\}_{j=1}^n$ разбивается на подпоследовательности s^1, s^2, \dots, s^m не единственным образом. В качестве базового выберем разбиение s^1, \dots, s^m , удовлетворяющее следующим условиям:

$$\begin{aligned} x_1^i - x_1^{i-1}/2 < x_1^{i+1}, i = 2 \div n_i - 1; 3x_1^i - x_1^{(i+1)}/2 < \\ < x_1^{i-1}, i = 2 \div n_i - 1; x_1^i \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (8)$$

При такой функциональной организации меры несходства (7) признак определяется как значение $f^i(\cdot)$, $i = 1 \div m$ в произвольной точке промежутка $(0, 1]$ и является бинарным. Функцию $f^i(\cdot)$ назовем признаковой, $i = 1 \div m$.

Визуальный анализ графической модели $\{s_j\}_{j=1}^n$ по периоду основного тона вокализованых фонем русского языка позволяет выделять универсальные составляющие для определенных классов фонетического словаря. Следует отметить, что, как правило, период основного тона от фонемы к фонеме резко не меняется, за исключением смычных и шипящих, где его затруднительно определить, а меняются только элементы подпоследовательностей $s^i, i = 1 \div m$. На стационарных участках фонем структура элементов $s_j^i, j = 1 \div n_i$ практически постоянна. Нарушение структуры периода основного тона позволяет достаточно точно решать проблему предварительной сегментации клиппированного речевого сигнала.

Опорные множества. Процедура выделения различительных признаков классов фонетических единиц, как правило, сводится [6] к построению на обучающей выборке $P, P \geq 1$ центроидов различной геометрической структуры (эллипсоиды, параллелепипеды и т. п.), где P фиксируется априори. Рассмотрим иной подход к формированию эталонов в модели признакового пространства.

Пусть имеется классифицированная обучающая выборка $S = \{(s^1, u^1), \dots, (s^l, u^l)\}$ объема l , где $s^i = \{s_j^i\}_{j=1}^{N_i}$ — представление фонетической единицы, отнесенной к классу с номером $u^i, u^i \in \{1, 2, \dots, K\}, j = 1 \div e, K$ — количество классов выборки s . Выполняя преобразование (3), строим классифицированную выборку

$$Z = \{(x^1, u^1), \dots, (x^l, u^l)\}. \quad (9)$$

Здесь и далее без ограничения общности будем считать, что выборка упорядоченна по принадлежности к классу и его номеру, т. е.

$$\begin{aligned} u^i = 1, i = m_1 + 1 \div m_2; u^i = 2, i = m_2 + 1 \div m_3; \dots, \\ u^i = K, i = m_K + 1 \div l, \end{aligned}$$

где $m_1=0$. Содержимое выборки Z занесем в матрицу так, что $b_{ij}=x_j^i$, $i=1 \div l$, $j=1 \div M$.
Иначе говоря, сформируем таблицу «объект-свойство». Определим

$$c_j^i = (b_{m_i+1j}, \dots, b_{m_{i+1}j}), \quad i=1 \div K, \quad j=1 \div M,$$

как часть транспонированного вектора-столбца матрицы B признака j , отвечающая классу с номером i ($i \in \{1, 2, \dots, K\}$), $m_1=0$, $m_{k+1}=l$. Фиксируем j и i . Упорядочивая по возрастанию компоненты вектора c_j^i , получаем

$$c_j^i = (c_{1j}, \dots, c_{n_j}), \quad n_i = m_{i+1} - m_i, \quad c_{1j} \leq c_{2j} \leq \dots \leq c_{n_j}, \quad (10)$$

где n_i — количество представителей класса с номером i в выборке Z . Для c_j^i введем вектор расстояний

$$d = (d_1, \dots, d_{n_i-1}), \quad d_k = c_{k+1j} - c_{kj}, \quad k=1 \div n_i - 1. \quad (11)$$

Компоненты d есть не что иное как вариационный ряд. По ряду (11) строится гистограмма его распределения и осуществляется поиск статистически значимых локальных минимумов $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$. Окрестности (g_k, h_k) минимумов γ_k , $k=1 \div k$ объявляются компонентами опорного множества O_j^i признака j в классе с номером i . Если $k \geq 1$, то $O_j^i = \bigcup_{k=1}^k (g_k, h_k)$. Если $k=0$, то в качестве опорного множества выбирается $[c_{1j}, c_{n_j}] = O_j^i$, где c_{1j}, c_{n_j} определяются в (10).

Несложно построить все семейство опорных множеств $\{O_j^i\}_{i,j=1}^{K,M}$ для выборки Z . Множества O_j^i , $i=1 \div K$, $j=1 \div M$ предлагается использовать в качестве эталонов, поскольку методы статистического усреднения нивелируют особенности распределения вероятности признака j в классе с номером i в выборке Z . Причем если это распределение не унимодально, то усреднение приводит к ошибкам.

Дадим определение опорного множества для модели Б. Пусть имеется классифицированная обучающая выборка $\tilde{s} = \{(^1s, u^1), \dots, ({}^l s, u^l)\}$ объема l , где ${}^i s = \{s_j^i\}_{j=1}^{n_i}$ — представление фонетической единицы, отнесенной к классу с номером u^i , $u^i \in \{1, \dots, K\}$, $i=1 \div l$; K — количество классов выборки \tilde{s} . Для каждого ${}^k s$, $k=1 \div l$ выбираем базовое разбиение (8) на подпоследовательности ${}^k s^1, \dots, {}^k s^{m_k}$ и строим классифицированную выборку

$$Z = \{(x^1, u^1), \dots, (x^l, u^l)\}, \quad (12)$$

где $l_1 = \sum_{k=1}^m m_k$. Здесь и далее без ограничения общности будем

считать, что выборка \tilde{Z} упорядоченная по принадлежности к классу и его номеру, т. е.

$$u^i = 1, i = p_1 + 1 \div p_2; u^i = 2, i = p_2 + 1 \div p_3; \dots; u^i K, i = p_K + 1 \div l_1,$$

где $p_1 = 0$. Рассмотрим семейство представителей базовых разбиений $\{x^i\}_{i=p_{k-1}+1}^{p_k}$; K — некоторый фиксированный класс;

$k \in \{1, 2, \dots, K\}$, $p_{K+1} = l_1$. Для всех $i (i \in \{p_{k-1} + 1, \dots, p_k\})$ определим функции $f_k^i(\cdot)$ (6). Плотность распределения вероятности бинарного признака вычисляется

$$q_k(x) = \left| 1 - \sum_{i=1}^{R_k} 2 \cdot f_k^i(x) / R_k \right|.$$

Здесь $R_k = p_k - p_{k-1}$. Поиск статистически значимых минимумов $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$ осуществляется по гистограмме распределения $q_k(x) = 1 - g_k(x)$. Окрестности (q_j, h_j) минимумов $\gamma_j = j = 1 \div k$ являются компонентами опорного множества $O_k = \bigcup_{j=1}^k (g_j, h_j)$ с заданной на нем признаковой функцией $F_k(\cdot)$:

$$F_k(x) = 0 \left(\sum_{i=1}^{R_k} 2f_k^i(x) / R_k - 1 \right). \quad (13)$$

Решающее правило. Для модели А пространства признаков предлагается следующий метод формирования преобразования Φ_2 (1). Введем необходимые определения. Будем называть характеристической функцией признака $j, j \in \{1, 2, \dots, M\}$ отображение μ_j такое, что

$$\mu_j: R^i \rightarrow C^K, \mu_j(y_j) = (\chi_{0j}^1(y_j), \dots, \chi_{0j}^K(y_j)),$$

где $C = \{0, 1\}$; C^K — декартова K степень множества C ; $y = (y_1, \dots, y_M)$ — статистический портрет фонетической единицы, предложенной к распознаванию, т. е. $\mu_j(y_j)$; $j = 1 \div M$ — индикатор принадлежности опорным множествам O_k^* , $k = 1 \div K$. Классификаторную функцию $\mu: R^M \rightarrow C^{K \cdot M}$ определим как вектор-функцию, компоненты которой — характеристические функции μ_j , т. е.

$$\mu(y) = (\mu_1(y_1), \dots, \mu_M(y_M)).$$

Очевидно, $\mu(y), y \in R^M$ является бинарной матрицей $\mu \in M_{M \cdot K}(C)$.

Решающее правило построим по принципу большинства совокупности характеристических функций μ_j , т. е.

$$k^* = \operatorname{Arg} \max_i \|\mu^i\|. \quad (14)$$

Здесь $\|\mu^i\|$ — норма вектора-столбца μ^i с номером $i, i = 1 \div K$ в матрице μ . Решение, принимаемое по правилу (14), может быть не единственным, т. е. необходимо привлечение дополнительной информации обучающей выборки Z , например $v = k_1^*, w = k_2^*$.

Пусть $\mu^v = \mu^v(z^l)$, $\mu^w = \mu^w(t^l)$ и $z^l \in Z$ при некотором l , $l \in \{1, \dots, l\}$. Для определенности будем считать, что вектор

$$q = \mu^v + \mu^w \neq 0, \quad (15)$$

где \otimes — покомпонентное сложение по модулю 2.

Будем говорить, что признак j , $j \in \{1, \dots, M\}$ предпочтительнее в классе $v = u^i$, если

$$\mu_j^v = 1, \mu_j^w = 0. \quad (16)$$

Для каждого класса i , $i = 1 \div K$ сформируем множества предпочтительности P_i индексов j , удовлетворяющих (16). Тогда «отношение порядка» признаков можно описать, например, функцией предпочтения $f: R^M \times \prod_{i=x}^K P_i \rightarrow U$, определяющей $f(y, P_1, \dots, P_K) = v$, если существуют j_1, j_2, \dots, j_n такие, что $\mu_{j_l}^v = 1$, $j_l \in P_v$, $l = 1 \div n$, $\{j_1, j_2, \dots, j_n\} \setminus P_w = 0$, $\mu_k^v \neq \mu_k^w(y)$.

В случае, если для вектора q условие (15) не выполняется, то принимается решение об отказе от распознавания.

Для модели Б пространства признаков решающее правило формируется следующим образом. Пусть $y = \{y_i\}_{i=1}^m$ — представление неизвестной фонетической единицы, y^1, y^2, \dots, y^m — базовое разбиение y на подпоследовательности (см. (7)); $f^i(\cdot)$ — признаковая функция (6) подпоследовательности y^i , $i = 1 \div m$. Для каждого i ($i \in \{1, 2, \dots, m\}$) вычисляется мера несходства

$$d_i^k = \alpha_i^k \cdot \Delta_i^k + \beta_i^k \cdot \varepsilon_i^k, \text{ где } \Delta_i^k = \int_{O_k} |f^i(x) - F_k(x)| dx, \varepsilon_i^k = \int_{O_k} |f^i(x) - F(x)| dx^*$$

$F(\cdot)$ — признаковая функция (13) класса k , $O_k = (0, 1] \setminus O_k$; $k = 1 \div K$, α_i^k, β_i^k — экспериментальные константы. Принадлежность y^i к некоторому классу k_i^* ($k_i^* \in \{1, \dots, K\}$) определим так:

$$k_i^* = \text{ARg} \min_k d_i^k.$$

Соответственно полностью фонетическая единица $y = (y^1, \dots, y^m)$ идентифицируется по следующему правилу:

$$k_i^* = \text{aRg} \max_k \alpha_k. \quad (17)$$

Здесь $\alpha_k = \sum_{i=1}^m \delta(k - k_i^*)$, $\delta(\cdot)$ — дискретный аналог функции

Дирака. Правило (17), как и правило (14), может не давать единственного решения. В этом случае корректировкой коэффициентов α_i^k, β_i^k , $i = 1 \div m$, $k = 1 \div K$ можно добиться более надежного распознавания, либо включением y^1, \dots, y^m в соответствующий класс k^* семейства базовых разбиений $\{x^i\}_{i=P_{k^*}+1}^{P_{k^*}}$ и пересчетом признаковой функции $F_{k^*}(\cdot)$ по формуле (13).

Следует отметить, что система распознавания в пространстве признаков Б является менее консервативной по отношению к смене диктора, поскольку использует более универсальные характеристики структуры периода основного тона, нежели распределение вероятности, и более гибкой при модификации эталонов фонетических единиц, чем система А.

Предварительные результаты экспериментов, проводимые на проблемно ориентированном словаре, позволяет надеяться на определенное продвижение в области распознавания дискретной клипированной речи.

Список литературы: 1. АРСО — 14. Тез. докл. и сообщений 14-го Всесоюзного семинара. Ч. 1, 2. Каунас, 1986. 235 с. 2. Розенберг Р. Важный шаг фирмы ИВМ на пути создания пишущей машинки, управляемой голосом. Электроника. 1986. Т. 59, № 8. С. 8—9. 3. Крейг Д. Роуз. Распознавание речи с высокой точностью. Электроника. 1986. Т. 59, № 20. С. 14—15. 4. Обжелян Н. К., Трунин-Донской В. Н. Речевое общение в системах «Человек-ЭВМ». Кишинев, 1985. 175 с. 5. Галахер Р. Т. Система распознавания речи. Электроника. 1986. Т. 59, № 8. С. 12—13. 6. Методы анализа данных: Подход, основанный на методе динамических сгущений. Пер. с фр./Кол. авт. под рук. Э. Дидэ. М., 1985. 357 с.

Поступила в редколлегию 23.01.89

УДК 612.821.001.57:681.3

Л. И. КРАСНИКОВА, канд. биол. наук

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ЛОГИКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Информационные системы с элементами искусственного интеллекта обработки данных, диагностики, прогнозирования, корректирования состояния служат не только практическим целям. Опыт их разработки, использования, сопоставление алгоритмов работы и имеющихся представлений о механизмах функционирования живого является своего рода рефлексией, способом самопознания интеллекта естественного. В частности, проведение параллелей между алгоритмами работы автоматизированной системы оценки состояния (АСОС) медико-биологических объектов, основанной на системно-информационном подходе, и логики функциональных систем, по представлениям школы П. К. Анохина может способствовать уточнению ряда положений как в области искусственного, так и в области естественного интеллекта.

Системно-информационный подход к построению АСОС

Основными функциями АСОС, использующей системно-информационный подход, является диагностика степени (или стадии) состояния (ДСС), дифференциальная диагностика состояния (ДДС), прогнозирование, управление. Оценка состояния может

осуществляться на уровне подсистем организма, индивидуальном, групповом, популяционном уровнях и заключаться в до-нозологической, нозологической оценке, оценке состояния в процессе деятельности, состояния здоровья. Подсистемами, обеспечивающими функции АСОС, являются база данных, блок обработки данных и выведения знаний из данных, блок принятия решения, контроля результатов и корректирования знаний.

Начальная концептуальная схема для базы данных разрабатывается с помощью специалистов-экспертов и может быть представлена таблицами объекта и среды с показателями разных иерархических уровней. Каждая строка соответствующей таблицы представляет состояние одного экземпляра объекта в некоторый момент времени и содержит набор значений показателей состояния (ПС), интегральных показателей состояния (ИПС), мета-показателей состояния (МПС). ПС — регистрируемые данные; ИПС — показатели, характеризующие объект (или среду) в определенном ракурсе как целое. Если объект — индивидум или население, то МПС является обозначением состояния здоровья. Значение ИПС раскрывается комплексом значений ПС; значение МПС — комплексом значений ИПС. Данные об объекте и релевантной ему среде, представленные в виде таких таблиц, являются основой дальнейшего автоматического обучения: определения оптимальных составов ПС, раскрывающих каждый ИПС, оптимальных составов ИПС, раскрывающих МПС и т. д. Значения ИПС или МПС сами могут быть предметом определения в том, например, случае, когда общепринятой классификации не существует. Выведенные машинным способом знания могут быть адекватными лишь в случае, если в исходном наборе показателей, определенном экспертом, содержатся все, сколь-нибудь существенные для решения поставленных задач характеристики состояния объекта.

Технология математического обеспечения АСОС. Узловыми проблемами математического обеспечения АСОС являются формализация системного представления, формирования знаний из данных, принятия решения, корректирования знаний на основе результатов использования АСОС [1].

Системное представление включает ряд задач. Квантование количественных ПС и временное квантование непрерывных наблюдений может осуществляться с использованием принципа максимальной информативности для определения числа градаций; при ДСС значения всех ПС целесообразно квантовать с одинаковым числом градаций (качественные и количественные ПС при этом представляются в порядковой шкале с одинаковым числом значений, что позволяет в задаче ДСС применить количественный подход).

Классификация наблюдений применяется, когда общепринятой классификации для определения значений ИПС и МПС не существует. Центрами кластеров целесообразно считать наиболее часто встречающиеся моментные сочетания классифицируемых показателей и временные последовательности таких сочетаний. Меры

информативности и другие информационные оценки используются для определения формы кластеров.

Выявление структуры межэлементных связей с помощью информационных мер взаимосвязи пар и групп показателей требуется для разных целей, в частности, для формирования иерархического системного представления. Так, при формировании одного из иерархических уровней представления, например, близлежащего к некоторому ИПС объекта, могут быть сначала выявлены комплексы наиболее тесно связанных между собой ПС, затем выбран из каждого комплекса показатель, наиболее тесно связанный с ИПС и, в то же время, наименее тесно связанный с ПС из других комплексов.

Ранжирование значимости ПС объекта и среды в отношении ИПС объекта или ИПС в отношении МПС в задаче ДДС осуществляется по мере частного количества информации; в задаче ДСС — по мере взаимной информации, мере чувствительности, а также критериям, в комплексе учитывающих и информативность, и чувствительность.

Отбор наиболее существенных для ИПС ПС (или ИПС для МПС) необходим, в частности, в связи с тем, что некоторые показатели из-за ограниченности объема выборки и недостоверности статистических характеристик нецелесообразно учитывать в процессе принятия решения.

Таким образом, для каждого ИПС или МПС формируется оптимальный на данном этапе комплекс показателей. После ранжирования показателей и расположения их в порядке значимости из таблицы начального представления формируется таблица системного представления (ТСП); после отбора наиболее значимых — таблица оптимального представления (ТОП).

Формирование знаний. Системно-информационный подход к обработке данных позволяет получать знания в виде структур данных, имеющих аналоги в теории и практике искусственного интеллекта. Это создает возможность построения гибридных систем, в которых знания, выведенные из данных, интегрируются со знаниями эксперта в предметной области.

Информационная модель (ИМ) состояний (ИМС). Каждая строка в ТОП, а также ТСП (моментное сочетание значений ПС, ИПС, МПС) представляет эталон состояний. Совокупность всех различных и реально наблюдавшихся эталонов вместе с частотами их встречаемости составляют ИМС. Каждый эталон и частота его встречаемости — элемент знаний декларативного типа. Выделяя в явном виде в эталоне показатели, относящиеся к внешней среде, к внутренней среде, искомые ИПС или МПС, элемент знаний можно представлять в виде продукции. ИМ — фрагмент (соответственно смыслу ИПС или МПС) знаний и является основой оценки состояния.

ИМ временных траекторий состояний (ИМВТС) составляется из совокупности всех различных и реально наблюдавшихся эталонов динамики состояний и соответствующих частот встречаемо-

сти. Эталоном динамики состояний является временная последовательность эталонов состояний. Элементом знаний при этом является эталон динамики состояний и частота его встречаемости.

Принятие решения. В основе оценки состояния лежит метод сличения с эталоном. Из эталонов, содержащих компоненты, идентичные или наиболее близкие в пространстве состояний к компонентам имеющихся данных (ИД) об обследуемом объекте, выбирается наиболее вероятный; компоненты, дополняющие ИД до целостного эталона, представляют решение. Критерием отбора может быть не только наибольшее правдоподобие, но и степень опасности состояния, обобщенные критерии. Диагностика осуществляется на основе ИМС; прогнозирование — на основе ИМВТС. Для определения способов корректирования состояния также может быть использован описанный выше метод определения пропущенных «букв» в «словах», если в структуре ИМ предусмотрены сведения о методах воздействия и их результатах. В результате дополнения ИД до целостного эталона появляется возможность интерпретации, понимания смысла ИД.

Корректировка ИМ осуществляется по мере накопления новых данных с учетом результатов работы АСОС.

«Проклятье многомерности», информационный барьер и био-медицинская информатика. Объективной трудностью в формировании ИМ при большом числе учитываемых показателей (ПС, ИПС) является практическая невозможность получения в каждом отдельном исследовании необходимого числа наблюдений. Так, для выявления типичности эталона состояния это число должно превышать формальное разнообразие — произведение алфавитов значений показателей; для выявления типичности эталонов динамики состояний длиной в k -состояний — формальное разнообразие в k -й степени. Число наблюдений, получаемых реально в каждом отдельном исследовании, а также то, которое доступно врачу, исследователю в профессиональной деятельности, очень далеко от этого числа. Так называемое «проклятье многомерности» и ограниченные человеческие возможности в рамках традиционной технологии познания создают «информационный барьер» в познании биообъектов.

Проведение нескольких аналогичных по содержанию исследований и выведение знаний из данных в каждом из них размерности отражения биообъекта в знаниях не увеличивает. Увеличение размерности отражения возможно при объединении не результатов обработки, а исходных массивов данных, т. е. создание базы данных, накапливающей информацию по аналогичным исследованиям, но проведенным в разных исследованиях и в разное время и последующим централизованным выведением знаний из данных. В создании машинного аналога коллективного человеческого опыта, не сводящегося к сумме знаний, приобретенных в отдельных исследованиях, состоит способ преодоления информационного барьера, т. е. смысл информатизации понимается в соответствии с подходом В. М. Глушкова [2].

Архитектоника функциональных систем и автоматизация оценки состояния

Функциональной системой (ФС) в соответствии с представлениями школы П. К. Анохина [3, 4] является комплекс избирательно вовлеченных компонентов, взаимодействие которых имеет характер взаимосодействия на получение полезного приспособительного результата. Система «стремится» получить запрограммированный результат и ради этого готова пойти на самые большие возмущения во взаимосодействиях своих компонентов. Полезными приспособительными для организма результатами, формирующими ФС различного уровня, являются метаболические результаты; гомеостатические результаты; результаты поведенческой деятельности животных и человека, удовлетворяющие их ведущие метаболические и биологические потребности; результаты стадной (зоосоциальной) деятельности; результаты социальной деятельности человека. В каждый данный момент деятельность организма определяется иерархией ФС. Доминирование ФС в целом организме определяется их биологической, а для человека, в первую очередь, социальной значимостью. Иерархия ФС прежде всего включает иерархическое взаимодействие результатов их деятельности, когда результат одной ФС входит в качестве компонента в результат другой.

В теории ФС наиболее проработана логика формирования полезного приспособительного результата, что в технологии АСОС соответствует алгоритму принятия решения. Формирование полезного приспособительного результата, принятие решения осуществляется в процессе афферентного синтеза. При этом осуществляется последовательное извлечение из памяти результатов прошлого и сопоставление их с потребностями текущего момента. Своеобразие состоит в симультанной обработке сигналов внутренней среды («доминирующей мотивации»), сигналов внешней среды («обстановочной афферентации»), пускового сигнала и возбуждений памяти. Только одновременная обработка «доминирующей мотивации», «обстановочной афферентации» и сопоставление их комбинаций с прошлым опытом дает возможность организму принять то или иное решение. По П. К. Анохину, на стадии афферентного синтеза организм освобождается от чрезвычайно большого числа степеней свободы, избыточных и не нужных для получения данного конкретного результата и, наоборот, сохраняются те степени свободы, которые необходимы и имеют приспособительный смысл для организма именно в данный момент и в данной ситуации.

В момент принятия решения происходит формирование акцептора результата действия — механизма предвидения и оценки результата. Акцептор результата действия не только прогнозирует признаки необходимого в данный момент результата, но и сливает их с параметрами реального результата, информация о которых приходит к акцептору результата действия благодаря об-

ратной афферентации. Главным условием предвидения и предсказания является то, что цепи событий неоднократно повторялись в прошлом и оставили следы в памяти. В акцепторе результата действия, наряду с жестким программированием потребного результата, происходит вероятностное программирование, перебор программ действия, определяющих наиболее успешное достижение соответствующего результата.

Аналогами следов в памяти, фиксирующих, при каких внешних и внутренних условиях достигался тот или иной приспособительный результат, являются эталоны в ИМ. При этом ИПС объекта — аналог полезного приспособительного результата. ИМ — аналог памяти. Структурная неполнота ИД — аналог потребностей объекта. Выделение из ИМ эталонов с компонентами, идентичными (или близкими) компонентам ИД, соответствует снятию избыточных степеней свободы и формированию вероятностного акцептора результата действия — афферентной модели будущего результата. Выбор одного из них, например, наиболее вероятного, соответствует принятию решения, определению программы действия. Программа действия может корректироваться на основе анализа применения результатов принятия решения в АСОС.

Алгоритм принятия решения на основе ИМ — определение пропущенных «букв» в «словах», раскрывает, по-видимому, механизмы интуиции — логического скачка на основе опыта.

Концепция ФС, по мнению самого автора, позволяет охватить все основные механизмы естественного интеллекта и является логической основой построения интеллекта искусственного [5].

Функциональные системы, личность, здоровье и информатика

Оценка состояния здоровья не сводится, как известно, к оценке состояния организма. В принципиальной концептуальной схеме базы данных АСОС состояние здоровья человека, обозначаемое МПС, раскрывается комплексом (при достаточной его целостности, системности) значений ИПС объекта и релевантной ему среды; значение каждого ИПС объекта характеризует определенный аспект приспособленности, активности его как целого и раскрывается комплексом ПС организма. К ИПС среды относятся показатели «активности» соответствующего комплекса факторов (физических, биологических, химических, социальных).

В рамках рассматриваемого подхода оценка, прогноз состояния здоровья имеет смысл «метадиагностики», «метапрогнозирования», поскольку базируется на изучении «портретов» из частных оценок состояния здоровья индивидуума. Основной проблемой является определение адекватного для характеристики состояния здоровья состава ИПС. В традиционных медико-биологических подходах к оценке состояния здоровья в качестве ИПС объекта обычно выступают отдельные частные характеристики состояния здоровья — адаптационные донозологические характеристики,

в том числе уровни психофизиологического напряжения в процессе деятельности, формы нозологии; в социально-биологических — число детей, уровень трудоспособности и др.

По мере гуманизации медицины, признания не только в теории, но и в практике примата в человеке социального над биологическим, при оценке состояния здоровья все больше будут учитываться результаты деятельности во внешней среде и структура личности, т. е. те приспособительные результаты и уровни интеграции индивидуума, которые «вынесены» за пределы организма. Развитие теории ФС может дать адекватную основу для определения оптимального состава показателей, характеризующих состояние здоровья индивидуума. Можно также надеяться, что теория ФС явится основой для интерпретации отдельных компонентов личности, механизмов их функционирования [6], а также для поисков соответствия компонентов личности с компонентами здоровья.

Принципиальным является вопрос создания адекватной информационной базы для обучения — формирования знаний. При функционировании индивидуума на высших уровнях интеграции формируются уникальные для него программы действия. Знания в АСОС относительно таких редких и многокомпонентных событий с учетом ограниченности возможностей типизации их в каждом отдельном исследовании, можно сформировать лишь при условии создания машинного аналога коллективного, интегрированного по пространству и времени опыта. Чем чаще повторяются ситуации, тем легче сформировать знания (систему эталонов), которые отражают устойчивые статистические закономерности, присущие живой природе.

Существуют, по-видимому, разные формы запечатления в живой природе знаний о таких закономерностях. ФС организма, обеспечивающие метаболические, гомеостатические, ведущие биологические потребности, работают автоматически, на основе заложенных в генетическом аппарате программ. Некоторые из этих программ достаточно сформированы уже к моменту рождения; для других (как показали опыты по изучению формирования ФС в онтогенезе) к моменту рождения акцепторы результатов действия содержат минимум наиболее важных параметров; занесение информации о параметрах результата и способах его достижения осуществляется в конкретных обстоятельствах. В рамках научного подхода остается и изучается гипотеза К. Юнга [7] о «коллективном бессознательном» — форме культурно-исторической памяти — системе «архетипов», запечатлевших типичные психические реакции на повторяющиеся условия жизни и являющихся прообразами, проформами поведения и мышления, определяющими жизнь человека.

Построение АСОС здоровья (АСОСЗ) означало бы, на наш взгляд, создание искусственного интеллекта, имитирующего все основные функции естественного интеллекта. Для построения АСОСЗ необходимо создание интегрированных баз данных, где

собираются воедино результаты всех аналогичных исследований, проведенных разными коллективами в разное время. Это осуществимо при унификации исследований, заполнении в каждом отдельном исследовании стандартизированных форм представления данных, интеграции форм представления и результатов, относящихся к ФС различных иерархических уровней. Для систем высших иерархических уровней формирование решения — уникального в рамках данной системы эталона (акцептора результата действия) осуществимо на основе алгоритмов, моделирующих не интуицию на основе опыта, а творческую интуицию. Самым «узким местом», однако, является не проблема алгоритмизации, а проблема информатизации. Смысл ее — обеспечение централизованного выведения знаний о состояниях здоровья на основе такой интегрированной базы данных (знания о частных аспектах здоровья могут быть выведены в локальных базах данных) и обеспечение возможности обращения к соответствующим базам данных при принятии решения.

Список литературы: 1. Красникова Л. И. К формализации получения и использования знаний//Кибернетика и вычисл. техника. К., 1988. С. 99—103. 2. Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. М., 1982. 552 с. 3. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М., 1971. 61 с. 4. Функциональные системы организма/Под ред. К. В. Судакова. М., 1987. 432 с. 5. Анохин П. К. Философский смысл естественного и искусственного интеллекта//Кибернетика живого. М., 1985. С. 29—42. 6. Филозофия и медицина. Л., 1986. 199 с. 7. Руткевич А. К. Г. Юнг//Знание — сила. 1989. № 2. С. 66—73.

Поступила в редколлегию 05.04.89

УДК: 681.3.06

В. А. ЛОВИЦКИЙ, канд. техн. наук, Ю. В. ПОНОМАРЕВ

СПОСОБ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ О ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В ОДНОМ ИЗ КЛАССОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ. СООБЩЕНИЕ 2

Сообщение является продолжением работы [1]. Предложенная методика по синтезу модели предметной области (МПО) для интеллектуальной автоматизированной системы управления технологическими процессами (ИАСУТП) опирается на технику представления МПО в форме базы знаний (БЗ) в сочетании с базой данных (БД). Механизм представления данных в виде БД опирается на традиционные методы построения информационной базы ИАСУТП в форме иерархической структуры и в этой работе не рассматривается.

Обосновываются и формулируются признаки, по которым выбирается язык представления знаний (ЯПЗ). Управление в ИАСУТП основывается на использовании полной МПО, в которую кроме традиционных аналитических моделей входит ло-

гико-лингвистическая модель [2], описывающая процесс функционирования технологического объекта управления (ТОУ). Иллюстрируется работа процедуры синтеза структуры БЗ на конкретном фрагменте предметной области. Представлен результат работы этой процедуры в виде конкретной структуры БЗ, которая синтезирована на основе совокупности предложений ЯПЗ, описывающей выбранный фрагмент ТОУ.

В качестве предметной области рассматривается сложная газотранспортная система (ГТС) и технологический процесс транспортировки природного газа в этой системе. МПО представляется следующим выражением:

$$M = \langle O, P, G, S, U \rangle, \quad (1)$$

где O — множество технологических объектов, составляющих ГТС; P — множество измеряемых параметров на технологических объектах; G — множество значений параметров из P ; S — множество различных состояний технологических объектов из O ; $U = \{u_{lm}\}$ — множество действий, которые переводят технологический объект, принадлежащий O , из состояния S_i в S_m .

Множества P и G составляют содержание структуры БД ИАСУТП. Элементы множеств O , S , U и их отношения между собой лежат в основе структуры БЗ ИАСУТП. Из этого следует, что для данного класса интеллектуальных программных систем в памяти ЭВМ необходимо хранить следующие виды знаний: знания о топологической структуре ГТС и ее информационной модели; знания о возможных состояниях объектов ГТС в процессе ее функционирования; знания об управляющих воздействиях по выводу объектов ГТС из аварийного и предаварийного состояний в нормальный (целевой) режим функционирования.

Успешное представление знаний в памяти ЭВМ предполагает правильный выбор модели представления знаний (МПЗ) и языка, позволяющего эффективно ее интерпретировать, т. е. языка представления знаний. Проблемы выбора МПЗ и ЯПЗ сложны тем, что в настоящее время не существует установившегося представления о том, какой язык следует считать ЯПЗ и каким требованиям он должен удовлетворять. Субъективным по сути является и выбор МПЗ.

Предлагается в качестве МПЗ использовать иерархическую семантическую сеть (ИСС), которая описывает структуру связей основных понятий МПО. Каждая вершина ИСС имеет структуру фрейма или сети фреймов в зависимости от сложности и детализации представления понятия.

Основной признаков выбора ЯПЗ служат следующие положения: ЯПЗ должен быть прост и естественен при описании МПО; ЯПЗ должен обладать средствами представления как декларативных, так и процедурных знаний (правила продукций, алгоритмы на языках программирования, программные модули и т. п.); ЯПЗ не должен заранее иметь зафиксированный набор базовых понятий, они определяются при описании конкретных задач, решаемых си-

стемой; ЯПЗ должен позволять устанавливать ассоциативные связи на различных уровнях знаний как на отдельных предложениях ЯПЗ, так и на структурах, соответствующих целым ситуациям; ЯПЗ должен создаваться в неразрывной связи с внешним языком описания для обеспечения простоты преобразования знаний с внешнего языка описаний во внутренний язык представления; ЯПЗ должен располагать средствами представления нечетких знаний.

Этим требованиям, с нашей точки зрения, удовлетворяет ЯПЗ, имеющий название МОДАЛ (Многоцелевой Операторно-Декларативный язык описания Алгоритмов). Язык МОДАЛ основывается на следующих гипотезах: любое естественно-языковое предложение преобразуется в совокупность ядерных предложений; любое ядерное предложение представляет собой A -оператор (оператор действия) или R -оператор (оператор отношения) языка МОДАЛ; любой R -оператор специфицирует или систему, представленную субъектом действия, или параметр, представленный субъектом действий, объектом, A -оператором; совокупность A - и R -операторов, эквивалентных исходному естественно-языковому предложению, образует концепт этого предложения.

Применение языка МОДАЛ в качестве ЯПЗ предполагает использование профессионального естественного языка, как внешнего языка описания знаний о предметной области.

Структурно система знаний о предметной области состоит из «врожденных» знаний системы; знаний, полученных в результате обучения системы; знаний, полученных системой в режиме самообучения.

«Врожденными» знаниями системы являются знания, априорно сформированные разработчиками системы. Эти знания используются системой для получения новых знаний посредством обучения.

Функционирование любой программной системы сводится к решению совокупности соответствующих задач. Следуя работам [3—5], определим задачу в виде четверки:

$$T = \langle X, Q, F, Y \rangle, \quad (2)$$

где T — имя задачи; X — входные данные и их спецификация; Q — описание того, что необходимо найти в задаче (описание цели); F — конечная последовательность правил, которая преобразует X в Y в соответствии с Q ; Y — выходные данные.

Уточняя компоненты выражения (2), можно прийти к понятию «решенная задача», которое вводится следующим кортежем:

$$T = \langle Dt(X), Sp(X), Nm(F), AS(F), Sp(F), Cnd(F); \quad (3) \\ Pr(F) \oplus (Dc(F) \& Pr(F)), Dt(Y), Sp(Y) \rangle.$$

Здесь $Dt(X)$ — входные данные; $Sp(X)$ — спецификация входных данных; $Nm(F)$ — имя алгоритма решения задачи T ; $As(F)$ — функциональное назначение F ; $Sp(F)$ — спецификация алгорит-

ма F ; $Cnd(F)$ — условия выполнения F ; $Pr(F)$ — программно представление конечной последовательности правил F ; $Dc(F)$ — декларативное описание конечной последовательности правил F ; $Dt(Y)$ — выходные данные; $Sp(Y)$ — спецификация выходных данных. Символ $+$ — логическая операция «разделительное ИЛИ»; $\&$ — конъюнкция.

Выражение (3) позволяет сформулировать, какие знания надлежит иметь в памяти ЭВМ, которые мы относим к «врожденным» знаниям.

Система знаний о задачах, решаемых в предметной области состоит из трех типов: система «ЗНАЕТ ЧТО» ($Dt(X)$, $Dt(Y)$, $Sp(X)$, $Sp(Y)$, $Nm(F)$, $As(F)$, $Sp(F)$, $Cnd(F)$), т. е. $Dc(S)$; система «ЗНАЕТ КАК» ($Dc(F)$); система «УМЕЕТ» ($Pr(E)$).

Известно, что исходя из данной классификации знаний о предметной области, выделяются семь классов всевозможных сочетаний из этих типов знаний. Но практический интерес для полноценного функционирования ИАСУТП представляют знания, имеющие в системе все три типа, которые называются полными декларативно-процедурными знаниями (ПДПЗ). Этот класс знаний формируется системой, имеющей знания «ЗНАЕТ ЧТО» и «ЗНАЕТ КАК» и комплекс $Pr(F)$ в качестве «врожденных» знаний. Системы, использующие ПДПЗ, способны расширять свои функциональные возможности путем синтеза соответствующих $Dc(F)$ по декларативному описанию функционального назначения процедурных знаний $Pr(F)$.

Система способна синтезировать $Dc(F)$ только тогда, когда существует взаимоднозначное соответствие между знанием «ЗНАЕТ ЧТО» $Dc(S)$ и знанием «ЗНАЕТ КАК» $Dc(F)$. Процесс синтеза состоит из двух этапов: в начале синтезируются алгоритмы $Dc(F)$, затем эти алгоритмы преобразовываются в соответствующие $Pr(F)$, имеющие вид программы на некотором языке программирования.

Изложенные требования к представлению МПО в ИАСУТП позволяют сделать вывод о необходимости иметь в системе знания, включающие в себя все три составляющие $Dc(S)$, $Dc(F)$ и $Pr(F)$. Для описания знаний $Dc(S)$ и $Dc(F)$ используется язык МОДАЛ. Описание $Pr(F)$ осуществляется на некотором языке программирования (Паскаль, Си и т. п.).

Рассмотрим представление $Dc(S)$ применительно к описанию газотранспортной системы. Для иллюстрации способа описания МПО используем фрагмент ГТС [1], представленный на рис. 1.

Каждый объект ГТС описывается тройкой следующего вида: $m_i = \langle x_i, n_i, y_i \rangle$, где m_i — модель i -го объекта ГТС; x_i — узел-вход, принадлежащий i -му объекту; n_i — имя i -го объекта; y_i — узел-выход, принадлежащий i -му объекту.

Модель топологии ГТС в этом случае имеет вид $M = \langle X, N, Y \rangle$, где N — множество имен всех объектов ГТС; X и Y — множество всех узлов-входов и узлов-выходов соответственно.

Линейный участок ЛУ состоит из следующих объектов: кран (КР), трубопровод-нитка (ТН), трубопровод-отвод (ТО), газораспределительная станция (Г). Кроме того, в модель ЛУ в качестве объектов входят узел-вход (УВХ) и узел-выход (УВЫХ).

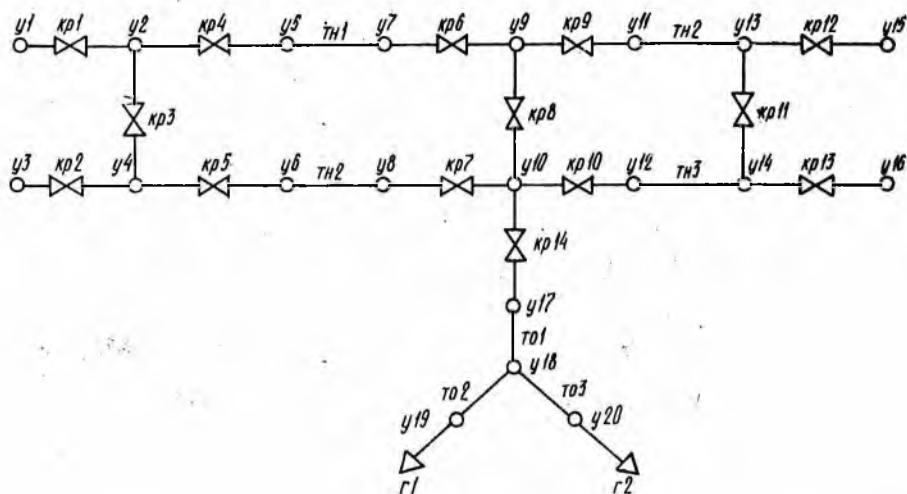


Рис. 1. Фрагмент линейного участка ГТС: y_i — узлы сети; КР, — краны; ТН, — трубопровод-нитка; $ТО_i$ — трубопровод-отвод; Г, — газораспределительная станция

Для всех типов объектов формируются концепты, связи между которыми описываются отношениями «ИМЕТЬ» и «СОЕДИНЯТЬ».

Ниже приводятся описания концептов на языке МОДАЛ.

КРАН:

ИМЕТЬ (ЧТО(КР), ЧТО(ИМЯ), КАКОЕ (?));
 ИМЕТЬ (ЧТО(КР), ЧТО(УВХ), ЧТО(УВЫХ));
 ИМЕТЬ (ЧТО(КР), ЧТО(СТ), КАКОЕ (?)).

УЗЕЛ-ВХОД:

ИМЕТЬ (ЧТО(УВХ), ЧТО(ИМЯ), КАКОЕ (?)).

УЗЕЛ-ВЫХОД:

ИМЕТЬ (ЧТО(УВЫХ), ЧТО(ИМЯ), КАКОЕ (?)).

ТРУБОПРОВОД-НИТКА или ТРУБОПРОВОД-ОТВОД:

ИМЕТЬ (ЧТО(ТН/ТН), ЧТО(ИМЯ), КАКОЕ (?));
 ИМЕТЬ (ЧТО(ТН/ТО), ЧТО(УВХ), ЧТО(УВЫХ));
 ИМЕТЬ (ЧТО(ТН/ТО), ЧТО(D), ЧТО(L), ЧТО(Q)).

ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ: (УВХ);

ИМЕТЬ (ЧТО(Г), ЧТО(ИМЯ), КАКОЕ (?));
 ИМЕТЬ (ЧТО(Г), ЧТО(УВХ));
 ИМЕТЬ (ЧТО(Г), ЧТО(СТ), ЧТО(Q)).

ЛИНЕЙНЫЙ УЧАСТОК:

ИМЕТЬ (ЧТО (ЛУ), ЧТО (ИМЯ), КАКОЕ (?));
 ИМЕТЬ (ЧТО (ЛУ), ЧТО (КР));
 ИМЕТЬ (ЧТО (ЛУ), ЧТО (ТН/ТО));
 ИМЕТЬ (ЧТО (ЛУ), ЧТО (Г));
 СОЕДИНЯТЬ (ЧТО (КР), С ЧЕМ (ТН/ТО));
 СОЕДИНЯТЬ (ЧТО (Г), С ЧЕМ (ТО));
 СОЕДИНЯТЬ (ЧТО (ТН), С ЧЕМ (ТН));
 СОЕДИНЯТЬ (ЧТО (ТН/ТО), С ЧЕМ (КР));
 СОЕДИНЯТЬ (ЧТО (КР), С ЧЕМ (Г)).

Знания о структуре фрагмента линейного участка ГТС (рис. 1) представляются в виде семантической сети (рис. 2), при построении которой использовались приведенные выше предложения

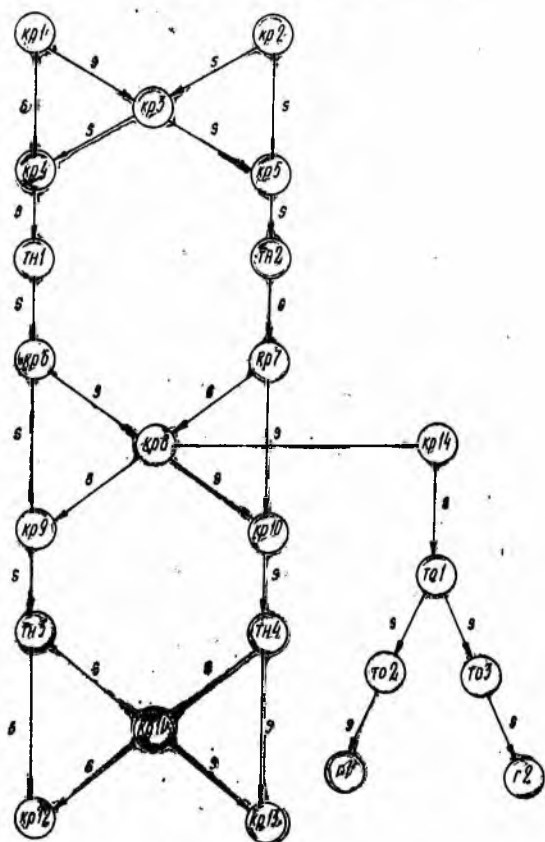


Рис. 2. Семантическая сеть фрагмента линейного участка ГТС;
 S — «СОЕДИНЯТЬ» (R — оператор); КР_i, ТН_i, ТО_i, Г_i — объекты ГТС

ЯПЗ МОДАЛ. Каждый объект линейного участка моделируется обобщенной структурой — фреймов-концептом. Сеть фреймов-концептов в БЗ для рассмотренного примера изображена на рис. 3.

Таким образом, можно представить знания о топологии ГТС и о технологическом состоянии ее объектов в БЗ ИАСУТП транспорта газа. Структура БЗ ориентирована на представление процесса функционирования ГТС в памяти ЭВМ логико-лингвистической моделью, использование которой предполагается совместно с аналитическими моделями движения газа по трубопроводу. Такой подход позволяет сочетать в рамках одной системы силу формальных и эвристических моделей объекта управления. Каждому классу технологических ситуаций, выявленных с использованием оперативной информации и аналитической модели распознавания состояний объекта управления, сопоставляется совокупность операций-действий, сформулированных экспертом. Такая совокупность представляется в БЗ

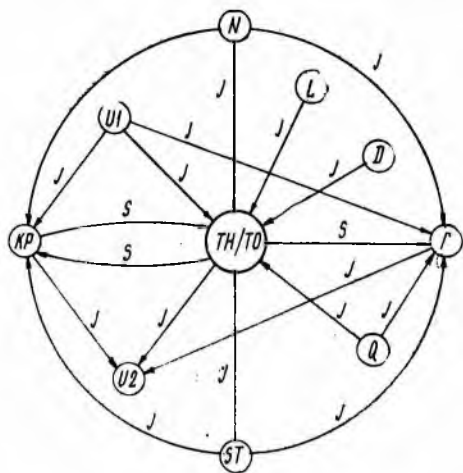


Рис. 3. Схема взаимосвязи фреймов-концептов в БЗ: *KP* — кран; *ST* — состояние объекта; *U₁* — узел-вход; *U₂* — узел-выход; *N* — имя объекта; *ТН/ТО* — трубопровод-нитка/трубопровод-отвод; *D* — диаметр трубы; *L* — длина трубы; *Q* — расход газа; *Г* — газораспределительная станция;

I — «ИМЕТЬ»; *S* — «СОЕДИНЯТЬ»
(*R* — операторы)

деревом решений и описывается в рамках предложенного подхода, соответствующим набором А-операторов языка МОДАЛ.

Список литературы: 1. Пономарев Ю. В. Способ представления знаний о предметной области в одном из классов интеллектуальных систем. *Сообщение 1*// Пробл. бионики. 1989. Вып. 43. С. 140—146. 2. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М., 1981. 231 с. 3. Ловицкий В. А. Принципы построения и использования систем формирования понятий в системах искусственного интеллекта. Х., 1980. 103 с. 4. Варсак М. И., Ловицкий В. А. Вопросы анализа и синтеза задачно-решающей системы оперативного управления основным производством//АСУ и приборы автоматки. Х., 1975. С. 114—121. 5. Бондарев В. М., Ловицкий В. А. Классификация интеллектуальных задач//Пробл. бионики. 1977. Вып. 19. С. 11—12.

Поступила в редколлегию 14.03.89

В. К. ВОЙНОВ, канд. филол. наук,
И. В. ЛИТВИНЕНКО, канд. филол. наук, Ю. В. ОРАЧ

О РОЛИ И ОСОБЕННОСТЯХ ОРГАНИЗАЦИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ДИАЛОГОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

Вопросами представления семантических знаний занимаются исследователи в самых различных сферах человеческой деятельности. Так, семантика текста — одно из основных направлений современной лингвистики [1], хотя лингвисты в своих изысканиях все больше обращаются к семантике внеязыковой действительности (экстралингвистической семантике), смыкаясь тем самым в своих интересах с представителями ряда наук, объединенных общим названием «искусственный интеллект». В целом в проблематику «искусственного интеллекта», наряду с вопросами семантической репрезентации внеязыковых сущностей и явлений, входят также проблемы семантического моделирования языка или его фрагментов [2]. В более узком смысле понятие «семантика» проникло в кибернетику в значении некоторого представления в смыслах, однозначно интерпретируемых («понимаемых») компьютером (назовем это понимание «компьютерной семантикой») [3]. Такое многообразие семантики, методов и объектов семантического представления затрудняет практическое использование семантических знаний в системах человеко-машинного общения с развитыми средствами естественного языкового диалога, к которым следует отнести автоматизированные обучающие системы (АОС) по иностранному языку, удовлетворяющие современным требованиям.

Осложняет процесс создания АОС для преподавания иностранных языков необходимость описания, как минимум, двух языков: языка ведения диалога (это может быть родной или изучаемый язык) и языка, относительно которого ведется диалог (изучаемого иностранного языка).

Однако, по нашему мнению, не только многообразие языковых средств влияет на характер и долю семантических знаний, используемых в АОС: во многом семантический компонент описания языковых средств в АОС определяется конфигурацией задач, решаемых конкретной обучающей системой.

Так, если разрабатывается АОС по одному из разделов грамматики иностранного языка, то полноту функций системы можно эффективно обеспечить построением по модульному принципу ряда идеологически взаимосвязанных отдельных учебных курсов (АУК), призванных в диалоговом режиме: *а* — дать студенту знания о некоторых грамматических явлениях иностранного языка; *б* — научить студента распознавать это грамматическое явление в тексте с той степенью точности, которая ему нужна для адекват-

ного перевода; *в* — отработать у студента определенную степень речевых письменных навыков, которые позволили бы ему порождать грамматически правильные предложения на иностранном языке. Следует также учесть, что решение задач *а — в* должно происходить параллельно-последовательно во времени и реализовываться средствами конкретного АУК.

Ниже представлен вариант организации семантических знаний в АОС по иностранному языку, решающей задачи *а—в*, в котором авторы стремились, где это возможно, произвести корректную дифференциацию в характере семантических знаний (путем различения семантики текста, экстралингвистической и компьютерной семантики) и тем самым помочь разработчикам в создании практически полезных систем.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что приступая к построению семантического компонента АОС по иностранному языку, конструкторы информационного, лингвистического и методического обеспечения должны осознавать, что они имеют дело с двумя объектами описания: языком ведения диалога и изучаемым языком. И подход к организации семантических знаний при описании этих двух объектов должен быть разным: если для языка ведения диалога возникает вопрос о том, в какой степени и как использовать семантические знания для успешного анализа входных сообщений машиной и организации адекватной реакции ЭВМ, то для изучаемого языка нужно решить вопрос о наиболее удачном использовании семантики при описании языковых явлений из расчета на восприятие человека. В качестве языка ведения диалога (в случае задач *а—в*) для студентов неязыковых специальностей целесообразно предложить их родной язык, в нашем случае русский, а точнее — очень ограниченное подмножество русского языка, обслуживающего диалог человек — машина.

Несмотря на ограниченность такого подмножества естественного языка, его эффективный автоматический анализ, как показали многочисленные исследования, невозможен, если исходить только из морфологической и синтаксической информации и хотя бы эпизодически не обращаться к семантике текста и/или экстралингвистической семантике, что вполне успешно можно осуществить, придерживаясь концепции АОС как некоторой базы данных [5, 4]. При таком подходе в качестве средства реализации общения обучающегося с ЭВМ на языке ведения диалога мы предлагаем использовать многоцелевой параметрический лингвистический процессор для общения со специализированными БД, описанный в [6, 7], в котором модель языка ведения диалога задается как параметр лингвистического процессора посредством сообщения лингвистическому процессору формализованного описания обрабатываемого языка.

Метаязык описания языка ведения диалога предлагается строить по модульному принципу из трех компонентов: лексико-морфологического описания, задающего словарную информацию о языке ведения диалога; синтактико-семантического описания,

определяющего синтактико-семантическую структуру языка ведения диалога; описания правил семантического синтеза, задающих процессы генерации выходной информации.

В основе синтактико-семантического описания лежит некоторая обобщенная синтактико-семантическая структура, которая формально задает грамматическую организацию основных компонентов сообщения и их семантику в результате выделения некоторых важных для автоматического распознавания синтактико-семантических классов, установленных на основе критериев синтаксического функционирования и самых разнообразных семантических критериев. Все те классы, смысл которых нерелевантен для распознавания, в описании сводятся к синтактико-семантическому классу ЕРУНДА, что в дальнейшем позволяет осуществлять частичный поиск. Таким образом, семантика текста и экстралингвистическая семантика могут быть «упрятаны» в классификационные признаки синтактико-семантических классов.

Что касается правил семантического синтеза, то они задают только ту выходную информацию интерфейса, которая однозначно может быть проинтерпретирована либо как непосредственно ответ машины, либо как представленное в специальном виде указание системе управления базами данных на выполнение действий, необходимых для удовлетворения запросов обучаемого. Очевидно, что семантический синтез «семантичен» в плане «компьютерной семантики».

Описание языка ведения диалога, как следует из сказанного выше, практически не зависит от задач $a-v$, чего не скажешь об описании изучаемого языка, которое находится в прямой зависимости от решения задачи a , предполагающей необходимость сообщить человеку в процессе обучения некоторый минимум знаний об изучаемом предмете [8].

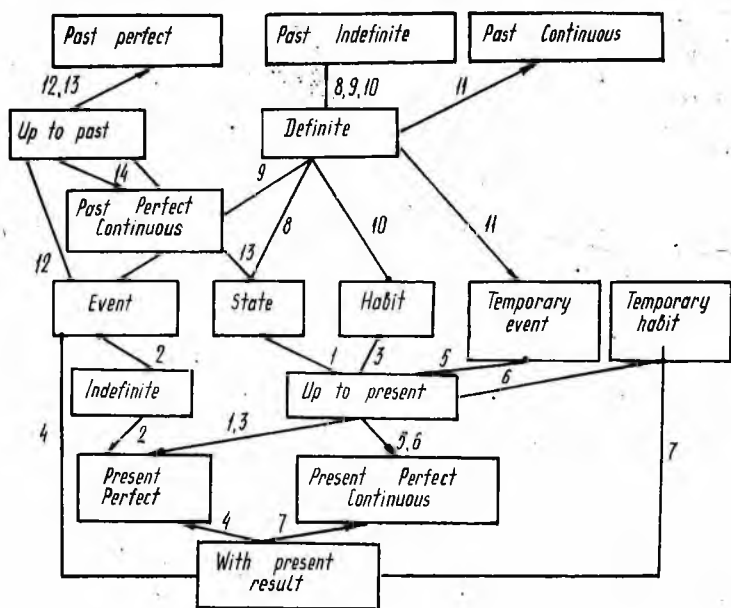
Эти знания желательно представить в виде некоторой обобщающей схемы, чтобы сформировать у студента системное представление об объекте изучения.

Так, если стоит цель научить студента распознавать в тексте некоторую временно-видовую форму английского глагола, привести предложение на русский язык с учетом специфики семантики этой формы, а в дальнейшем уметь использовать в речи английский глагол в соответствующем грамматическом оформлении, то минимум знаний о предметной области **ВРЕМЕННО-ВИДОВЫЕ ФОРМЫ АНГЛИЙСКОГО ГЛАГОЛА** целесообразно представить в виде обобщенной схемы (рисунок). Эта схема имеет вид концептуальной схемы (в понимании [9]), реализованной в виде семантической сети, репрезентирующей отображение понятия времени в конкретные грамматические формы английского глагола.

Концептуальная схема имеет вид ориентированного графа с вершинами двух типов:

K_1 — множество концептов членения временного континуума относительно момента речи и комбинаций этих концептов: pow —

момент речи, before — до момента речи, then — после момента речи, up to — к моменту, определенному через now, then, before, а также концептов, описывающих семантику действий по следующим семантическим признакам: state — состояние, длящееся в течение некоторого периода с неопределенным началом и концом; event — событие, рассматриваемое как единичное, с определен-



Фрагмент концептуальной схемы предметной области «Видо-временные формы английского глагола»

ным началом и концом; habit — повторяющееся действие; temp — признак непостоянного характера действия; definite (indefinite) — признак действия, происходящего в определенный (неопределенный) момент;

K_2 — множество конкретных временно-видовых форм английского глагола (Tense Aspect Forms), например: Past Indefinite, Present Perfect Continuous.

Множество дуг T концептуальной схемы задает отображение множества K_1 (временных семантических признаков действий) — в множество K_2 (конкретных временно-видовых форм английского глагола), причем каждая дуга помечена и исходит из одной из вершин множества K_1 к одной из вершин множества K_2 .

Предложенная концептуальная схема свободна от субъективизма, так как фиксирует регулярную связь концептов временного континуума с формой выражения, в основе которой лежит категориальная семантика английского глагола. Схема может служить хорошей основой для экспликации семантических знаний

о фрагменте действительности и языковом ее оформлении, необходимых студенту при порождении глагольных форм на английском языке (задача *в*). Для решения задачи *б* схему нужно дополнить алгоритмом распознавания временно-видовых форм английского глагола, определяющим последовательность действий, которые студент должен выполнить, чтобы идентифицировать в тексте глагольную английскую форму и перевести ее на русский язык.

В предложенной конфигурации семантических знаний для АОС по иностранному языку мы стремились найти разумный компромисс между сложностью семантического аппарата представления знаний и функциональной полнотой систем подобного класса.

Список литературы: 1. *Проблемы лингвистической семантики*. Реферативный сборник. М., 1981. 206 с. 2. *ТИИЭР*. 1986. Т. 74. № 10. 180 с. 3. *Ахо А., Ульман Дж.* Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции: Синтаксический анализ. 1976. Т. 1. 120 с. 4. *Невьянцева Н. А.* Методические указания по автоматизированному учебному курсу (№ 1): Распознавание сравнительной степени прилагательных и наречий при чтении литературы на английском языке. М., 1987. 12 с. 5. *Арзикулов Х. А., Пиотровская К. Р.* Информатика и переработка текста средствами вычислительной техники. Самарканд, 1986. 84 с. 6. *Войнов В. К., Литвиненко И. В., Столяревская А. Л., Шлейников В. И.* Основные аспекты естественного языкового интерфейса пользователя-непрограммиста с базой данных. 1986. Рус. Деп. в ИНИОН АН СССР № 28031/27.01.87.—24 с. 7. *Войнов В. К., Литвиненко И. В., Шлейников В. И.* Система построения естественного языковых трансляторов «СПИН». Х., 1986. Рус. Деп. в ИНИОН АН СССР № 28032/27.01.87.—27 с. 8. *Войнов В. К., Замаруева И. В., Изергина О. А., Новикова О. И.* Гипотеза о понимании текста (аспекты формализации)//Пробл. бионки. 1988. Вып. 40. С. 48—53. 9. *Addis V. R., Johnson L.* Knowledge for Machines//The 5 th Generation Computer Project. 1983. 327 с.

Поступила в редколлегию 06.03.89

УДК 612.821

А. П. КУВЕНЕВА, Л. Г. БОГДАНОВА, М. Е. КУЧЕРЕНКО

ДЕНОТАТ — МОДУЛЬ ВЕРБАЛЬНОГО СООБЩЕНИЯ

Статья посвящена внутренней структурной организации естественного языка, связям присущих языку элементов, выявляемых на основе исследования способов их актуализации в речи. Язык рассматривается как система знаков и как единый принцип, лежащий в основе речи и диктующий ей свои правила. Речь же рассматривается как деятельность по актуализации возможностей, предоставляемых естественным языком его носителям. Понятие «деятельность» используется как в узко-предметном, так и в социально-практическом значении.

Любая лингвистическая единица в структуре языка (фонема-морфема—слово—словосочетание—предложение — сверхфразовое

единство — текст как речь, т. е. любой отрезок линейно-организованного потока знаков) при рассмотрении ее в системе знакового общения трактуется как единица общения (сообщение, высказывание). При этом она становится элементом в ряду следующих коммуникативных единиц: слово (элементарный знак) — высказывание, предикация (содержательно-смысловой блок, оформленный средствами языка) — текст (сообщение или сложный знак более высокого порядка). Поэтому единица речи, общения рассматривается нами как определенный способ организации значений и структурирования смысловой информации для общения как воплощения мотивированной и целенаправленной интеллектуально-мыслительной деятельности индивида в целях обмена материально-практической деятельностью с другими людьми.

Наша задача состоит в том, чтобы использовать уже накопленные в советской лингвистике и психологии знания о структуре и этапах формирования деятельности для исследования речевой деятельности индивида. Опираясь на указание А. Н. Леонтьева [1, 92, 101] о принципиальной и двусторонней связи между материально-практическим и психическим в деятельности, мы выделяем важный компонент — регулятивно-психический, который формируется как внутренний в процессе речевой деятельности. Он является ответом на внутреннюю мотивацию речевой деятельности в поисках в ее структуре прогнозируемого искомого содержания этой деятельности. Необходимо указать на приоритет И. А. Зимней, предпринявшей одно из первых в нашей стране экспериментальных исследований с целью раскрыть психологический механизм взаимодействия на основе общественно-исторически отработанных средств общения, в выделении этого компонента в вербальном общении [2, 29; 3, 100, 30]. Деятельность индивида при его функционировании была обозначена его смысловыражением. Вербальное общение как основная форма общественно-коммуникативной деятельности, использующей вербальные средства (слова — предложения — тексты), рассматривается ею как высший психический процесс по смысловыражению и смысловосприятию в процессе регулирующей, планирующей и корректирующей функции нашего сознания.

Однако вслед за Выготским Л. С. целостный интеллектуально-мыслительный процесс, актуализируемый личностью в речевой деятельности, нами не отождествляется ни с так называемой внутренней, ни с внешней речью. Л. С. Выготский подчеркивал как экспериментально установленный факт, что и мышление, и речь имеют генетически совершенно различные корни [4, 157]. Он ограничивал роль внутренней речи (равно как и ее единиц — смыслов слов) функцией средства для особого вида интеллектуально-мыслительной деятельности — речевого мышления, опосредующего динамическое отношение между мыслью и словом. Отграничивая единицы мысли от единиц речи, он утверждал, что и движение мысли не совпадает непосредственно с разворачиванием речи [4, 171; 173]. Добываемые знания в виде определенных дан-

ных перерабатываются на разных уровнях личностного сознания, превращаясь в глубинные и поверхностные мыслительные структуры. В конкретной жизнедеятельности личность как носитель сознания, а значит и мыслительных структур (впечатлений, знаний и связывающих их отношений — идей) эксплицируют их в вербальном общении. Процесс актуализации названных мыслительных структур в знаковом общении придает им прагматическую и коммуникативную ценность. При этом мы далеки от утверждения, что мыслительные структуры сводятся к элементам речи. Они не совпадают с речью. Но они предполагают речь. Доказательством этого служат постоянные поиски речевого выражения имеющейся мысли индивидом как на родном, так и на иностранном языке. Мысль, сама не получившая речевого выражения, работает в качестве контролера по подбору своей речевой формы. Поэтому, рассматривая способ формирования мысли, вслед за И. А. Зимней и Н. И. Жинкиным мы выделяем две формы речи: внутреннюю и внешнюю. Внутренняя речь — это внутренний способ формирования мысли посредством языка, внутренний предметно-схемный способ (код по Н. И. Жинкину) формулирования речи [5]. Внешняя форма речи — это устный или письменный способ формирования мысли посредством языка. Таким образом, в речи отражаются творческие мыслительные процессы, основанные на деятельности психического отражения реально существующих вещей и их свойств. Но такое отражение в речи возможно лишь благодаря особым функциям языкового знака. Это коммуникативность, целостность содержательно-смысловой структуры, «программность», т. е. прогнозируемость разветвления речевого знака. Именно «программность» вводит языковой знак в те или иные связи с другими элементарными знаками языка, образуя знаки более высокого порядка.

Язык содержит совокупность элементарных знаков, имеющих до некоторой степени общее для интерпретаторов значение. Условием существования языка как раз и является общепонятность его знаков. Вместе с тем постоянство значений знаков для данной ситуации общения относительно. Значения их ситуативны и многозначны в разных контекстах общения. В ходе речевой деятельности на уровне текста знаки приобретают дополнительное индивидуальное в значении. Для достижения намеченной цели общения, хотя и не всегда четко представляемой и не всегда четко формулируемой, разные по сложности языковые знаки включаются в многоступенчатые информативные связи, способствующие осуществлению высказывания. Таким образом, слова как элементарные знаки языка образуют тексты (сообщения) как результаты знаковой деятельности человека. Высказывание как элемент текста является поэтому не только продуктом коммуникативно-познавательной деятельности человека, но и образом ее. Высказывание как образ коммуникативно-познавательной деятельности человека отражает ее фазы: ориентировочную, исполнительную, контрольно-коррекционную. Вот почему возможны разные выска-

звания, выражающие одну и ту же мысль при помощи одних и тех же языковых знаков. В силу этого предметом речевой деятельности является «мысль как форма отражения предметов и явлений реальной действительности» [3, 48]. В ходе продуктивных видов речевой деятельности (говорения, письма) человек объективирует мысли в продуктах этой деятельности — высказываниях (текстах), делая это, как уже отмечалось, с помощью речи. Высказывания (тексты) включают предметный план (мир предметов-денотатов, поименованных в тексте и находящихся в нем свое отражение в виде языковых знаков — слов) и план предметных смысловых связей, т. е. план выраженных в форме языковых единиц (частей речи, членов предложения) формально-логических отношений (связи действия, местоположения, соположения, принадлежности, определения и тому подобное). Эти предметные связи образуют предметный план речевой деятельности.

Для рассмотрения процесса порождения, продукции речевого высказывания важно было установить механизмы речевой деятельности, взаимосвязь сознания и объективной действительности, опредмеченной в мысли. Также надо было выделить единицы речи как языковые знаки разной структурной сложности. Номинативная функция языковых знаков выражается в представлении обозначаемых ими смыслов и предметов в виде денотатов. Именованье событий в предикативной форме вычленяет в них как объектах номинации предметы и отношения. Поэтому денотат состоит из предмета и отношения, причем предмет всегда знаково выражен, а отношение «свернуто» в виде смыслов, которые имплицитно присущи этому предмету. Например, отношение между предметами: «школьная реформа» → «Пленум ЦК КПСС» может быть выражено связью в виде глагола «была рассмотрена на», «была принята» в том направлении, которое показано стрелочкой. Данный денотат может быть выражен предикацией: Школьная реформа была принята Пленумом ЦК КПСС. И только так в контексте знаний индивида нашей действительности и дальнейшего развертывания контекста. Следовательно, именованье события в предикативной форме при помощи составляющих — предмета и отношения, выражает номинативно-коммуникативное содержание высказывания. Оно же и строит это высказывание. Поэтому денотат мы рассматриваем как исходную единицу для высказывания, как своеобразную свернутую синтагму. Одновременно денотат служит средством развертывания высказывания. Иными словами, мы представляем денотат как модуль речевого высказывания, вербального сообщения. Денотат выступает как свернутое и обобщенное представление о содержании высказывания, заменяющее его в мышлении.

Такой характер понятия денотата в лингвистике и психологии позволил Г. Д. Чистяковой использовать его для представления содержания любого текста в виде денотатов и их отношений. «Денотат подтемы имплицитно содержит в себе и все другие денотаты, соответствующие данному фрагменту содержания, поскольку они объединены определенными предметными отношениями, сформиро-

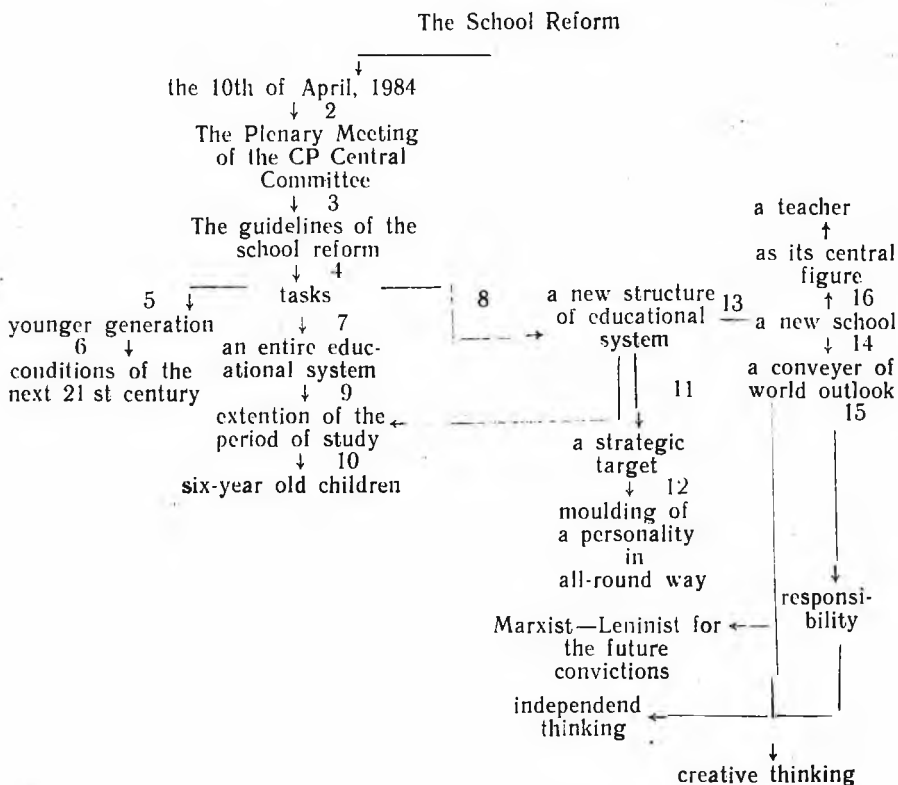
ванными в интеллекте человека в его прошлом опыте. При необходимости подтема всегда может быть развернута на содержательном уровне путем введения входящих в него денотатов, каждый из которых будет являться субподтемой данной подтемы и тем самым задавать ей иерархическую структуру» [6, 58]. Сама система денотатов формируется по иерархическому принципу, в которой одни денотаты, являясь более общими по отношению к другим, стоят на более высоких уровнях иерархии и включают подчиненные им денотаты. Это привело к выводу, что при обучении иностранному языку может быть эффективным использование денотатных карт как средства организации предметного плана высказывания. В них предметно-схемный код в сознании человека представлен в некоторой схеме отношений тех объектов (денотатов), о которых идет речь в вербальном сообщении (тексте).

Для обучения иноязычному высказыванию предметное содержание высказывания необходимо задавать извне. Это особенно актуально на начальном этапе. Кафедры иностранного языка — участники экспериментального исследования в рамках СЭИ ММС УИЯ Минвуза СССР — под руководством профессора Зимней И. А. поставили вопрос о применении денотатных карт (схем) как средства управления предметным планом высказывания. При этом преподаватели при обучении иностранному языку исходили из предположения, что составленная в качестве опоры «для речевой продукции денотатная карта будет работать в резонанс» с соответствующими картами, имеющимися в индивидуальном опыте говорящего. Именно денотатные карты, где денотаты свернуты в определенных связях, показывают механизм смысловыражения в речи. На примере денотатной карты по теме «Школьная реформа» (таблица), используемой при обучении английскому языку в Харьковском государственном педагогическом институте им. Г. С. Сковороды, можно показать, как денотаты развертываются в высказывании. Для целей лучшего понимания предлагаются высказывания элементарной структуры. Программность денотатов, как уже упоминалось, проявляется в прогнозируемости их связей, которые отражены в денотатной карте в виде стрелок. Каждая связь отражает разные отношения, т. е. мыслительные структуры, присущие индивиду (в нашем случае — обучаемому), которые стимулируются в высказывании в виде языковых знаков. Например, связь 1.: The School Reform → the 10th of April, 1984, может эксплицироваться только как связь времяположения с помощью предиката — was adopted.

Смысловая связь денотатов раскрывается в речи с помощью языковых знаков предикации. Предъявление студентам такого предметно-схемного кода высказывания, сообщения облегчает им порождение элементарных высказываний в связи с тем, что денотатная карта снимает многие трудности. Во-первых, это вербальное представление денотатов, которые уже даны им в готовом виде. Во-вторых, это их иерархическая структура, которая отражает логику сообщения.

Денотатная карта представляет иерархию денотатов, расположенных по принципу инклюзивности, соподчинения и сочинения элементов, находящихся в отношениях: род — вид, целое — часть, общее — частное и тому подобных. Денотатная карта иллюстрирует и то, как один смысл может быть передан в вербальном обще-

Таблица



нии разными языковыми знаками. Например, связь 4: The guidelines of the school reform → tasks может дать несколько высказываний: 1) The Guidelines of the school reform envisage several tasks. 2) The Guidelines of the school reform include several tasks. 3) The Guidelines of the school reform set up several tasks. 4) The Guidelines of the school reform have several tasks.

Этот список можно продолжить, не нарушая смысла сообщения.

Таким образом, использование денотатных карт в методике преподавания иностранных языков обосновано теорией денотата, лежащего в основе вербального представления опредмеченной мысли индивида.

Предложенный в статье подход к речевому общению на основе теоретико-методологического принципа единства сознания и деятельности, включающего в себя личностный подход к человеку, может быть использован при разработке проблем машинного перевода и реферирования. На наш взгляд, можно кодировать тексты в памяти ЭВМ в виде денотатов — свернутых синтагм, систематизированных в определенной иерархической структуре. В памяти ЭВМ денотаты могут храниться в виде открытого, подвижного тезауруса как приемника смысловой информации на основе априорно заложенной в них информации. При извлечении из памяти машины денотаты в виде денотатных карт, т. е. смыслологического кода, могли бы полностью выдавать заложенную в них информацию. Знаковое кодирование речевых текстов на естественных языках в виде иерархии денотатов способствовало бы также экономии памяти ЭВМ.

Список литературы: 1. Леонтьев А. Н. Деятельность, сознание, личность. М., 1977. С. 92, 101. 2. Зимняя И. А. Психология слушания и говорения. АДД, М., 1973. 100 с. 3. Зимняя И. А. Психологические аспекты обучения говорению на иностранном языке. М., 1978. 120 с. 4. Выготский Л. С. Мышление и речь/Хрестоматия по общей психологии: Психология мышления. 1981. 173 с. 5. Чистякова Г. Д. Психологическое исследование содержательной стороны текста в связи с проблемой понимания/Вопр. психологии. 1974. № 4. С. 171—173. 6. Жинкин Н. И. Некоторые вопросы применения теории информации к психологии/Вопр. психологии. 1958. № 1. С. 43—48.

Поступила в редколлегию 19.10.88

УДК 658.5

В. И. ТИМОХИН, канд. техн. наук, К. А. НАЙДЕНОВА,
канд. техн. наук, Т. Н. ЧЕБОКСАРОВА, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАССУЖДЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ЗНАНИЯХ

Развитие теории искусственного интеллекта привело к созданию систем, основанных на знаниях, которые отличаются от других систем искусственного интеллекта тем, что в них реализация базы знаний (БЗ) опирается на подобные человеческим когнитивные структуры, а методы обработки знаний аналогичны методам естественных (человеческих) рассуждений. Создание систем, основанных на знаниях, требует решения следующих проблем: извлечение и представление знаний, модификация знаний, проверка корректности (логической совместимости), формирование знаний (обобщение, классификация, обнаружение закономерностей) и использование знаний.

Рассмотрим следующую задачу: имеется описание наблюдаемой ситуации, которое содержит значения некоторых признаков (атрибутов) и список имен признаков с неизвестными значениями, интересующими исследователя. Имеются описания ситуаций,

хранящиеся в базе знаний (БЗ). Требуется установить, не противоречит ли описание наблюдаемой ситуации фактам, накопленным в БЗ, и предложить исследователю один или несколько вариантов доопределения неизвестных значений признаков.

Пусть БЗ представляет собой множество k -местных предикатов, $1 \leq k \leq n$, не содержащих переменных и связывающих значения различных атрибутов, описывающих некоторый природный объект. Например, утверждение, или предикат Р1 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, ВОДОТОК: нет, ЭКСПОЗИЦИЯ: север, ТИП ЛРУ: черничник) означает, что в заданном районе сочетаются, наблюдаются одновременно склон, отсутствие водотока, северная экспозиция склона и тип лесорастительных условий (ЛРУ) — черничник. В качестве имен атрибутов и их значений мы употребляем константы, являющиеся логическими высказываниями. Это удобно по следующим причинам:

- допускаются в качестве имен и значений атрибутов выражения естественного языка, например, «крутизна не более 4°»;
- имя атрибута служит указанием на область его значений, таким образом, не возникает необходимости вводить сорта или типы переменных;
- можно не фиксировать места конкретных атрибутов в предикатах.

При назначении имен нужно выполнить лишь одно условие: множество имен атрибутов не должно пересекаться с множеством значений всех атрибутов. Область значения каждого атрибута может быть задана как конечное множество либо как вещественный интервал. Дополним область значений каждого из атрибутов двумя значениями α и ω , имеющими следующий смысл: α — «значение противоречиво»; ω — «возможно любое значение области значений атрибута».

Специальный атрибут с именем БЫВАЕТ обозначает вид предиката. Ограничимся тремя видами предикатов: в предикатах I вида совокупность значений атрибутов встречается во всех наблюдаемых ситуациях (БЫВАЕТ: всегда); в предикатах II вида совокупность значений его атрибутов встречается часто (БЫВАЕТ: часто); предикат III вида содержит такие значения атрибутов, которые никогда не встречаются совместно в наблюдаемых ситуациях (БЫВАЕТ: никогда).

Предикат III вида назовем запрещающими утверждениями.

Каждому предикату БЗ сопоставим паттерн, содержащий значения аргументов предиката (атрибутов), следующим образом:

- паттерн представляет собой вектор, содержащий число компонентов, равное числу атрибутов во всем множестве атрибутов A ;
- устанавливается взаимнооднозначное соответствие между атрибутами из A и компонентами паттерна;
- если значение атрибута присутствует в предикате, то поставим его в соответствующей позиции паттерна, а если атрибут не входит в предикат или его значение неизвестно, то в соответствующей позиции паттерна поставим ω .

Наблюдаемая ситуация описывается неполностью определенным предикатом

PE (arg1 : v1, arg2 : v2, ..., argK : vK, argK+1 : x1, ..., argK+T : xT),

где v1, v2, ..., vK — наблюдаемые значения атрибутов arg1, arg2, ..., argK соответственно; argK+1, ..., argK+T — имена атрибутов, значения которых требуется определить.

На множестве паттернов определим бинарную операцию уточнения [1, 2], которая по двум паттернам строит новый паттерн, совмещающий значения атрибутов первого и второго паттернов, если это совмещение возможно (непротиворечиво). Операция уточнения выполняется покомпонентно в соответствии с таблицей. Наличие хотя бы одного символа α в результате операции уточнения

	α	b1	b2	ω
α	α	α	α	α
b1	α	b1	α	b1
b2	α	α	b2	b2
ω	α	b1	b2	ω

над парой паттернов означает, что не существует такого паттерна, который обладал бы одновременно значениями паттернов-операндов. В этом случае результат операции уточнения обозначим символом α .

Введем следующие определения. Паттерн X назовем совместимым с паттерном P, если результат операции уточнения $X \cdot P \neq \alpha$. Паттерн X поглощает паттерн P, если $X \cdot P = X$.

Для построения алгоритма решения задачи нам потребуется процедура разветвления, которую мы проиллюстрируем на конкретном примере.

Имеется фрагмент базы знаний

- P1 (БЫВАЕТ: часто, РЕЛЬЕФ: плакоры, ВОДОТОК: нет, ТИП ЛРУ: черничник)
 P2 (БЫВАЕТ: часто, РЕЛЬЕФ: плакоры, Понижение: есть, ТИП ЛРУ: багульник)
 P3 (БЫВАЕТ: часто, РЕЛЬЕФ: плакоры, Понижение: есть, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P4 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: от 7 до 10°, ВОДОТОК: нет, ЭКСПОЗИЦИЯ: юг, ТИП ЛРУ: черничник)
 P5 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: меньше 4°, ЭКСПОЗИЦИЯ: север, ТИП ЛРУ: черничник)

- P6 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: от 7 до 10°, ВОДОТОК: есть, ЭКСПОЗИЦИЯ: восток, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P7 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: меньше 10°, ВОДОТОК: есть, ЭКСПОЗИЦИЯ: юг, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P8 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: больше 10°, ЭКСПОЗИЦИЯ: север, ТИП ЛРУ: брусничник)
 P9 (БЫВАЕТ: никогда, СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: больше 15°, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P10 (БЫВАЕТ: никогда, ПОРОДА: сосна, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P11 (БЫВАЕТ: часто, ПОРОДА: береза, ТИП ЛРУ: ЗЛШ)
 P12 (БЫВАЕТ: часто, ПОРОДА: сосна, ТИП ЛРУ: черничник)
 P13 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, ПОРОДА: лиственница)
 P14 (БЫВАЕТ: всегда, ВЫРУБКИ: выр, ПОРОДА: береза)
 P15 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, ЭКСПОЗИЦИЯ: восток, ПОРОДА: сосна)
 P16 (БЫВАЕТ: часто, СКЛОН: есть, ЦВЕТ КРОНЫ: темзел, ПОРОДА: кедр).

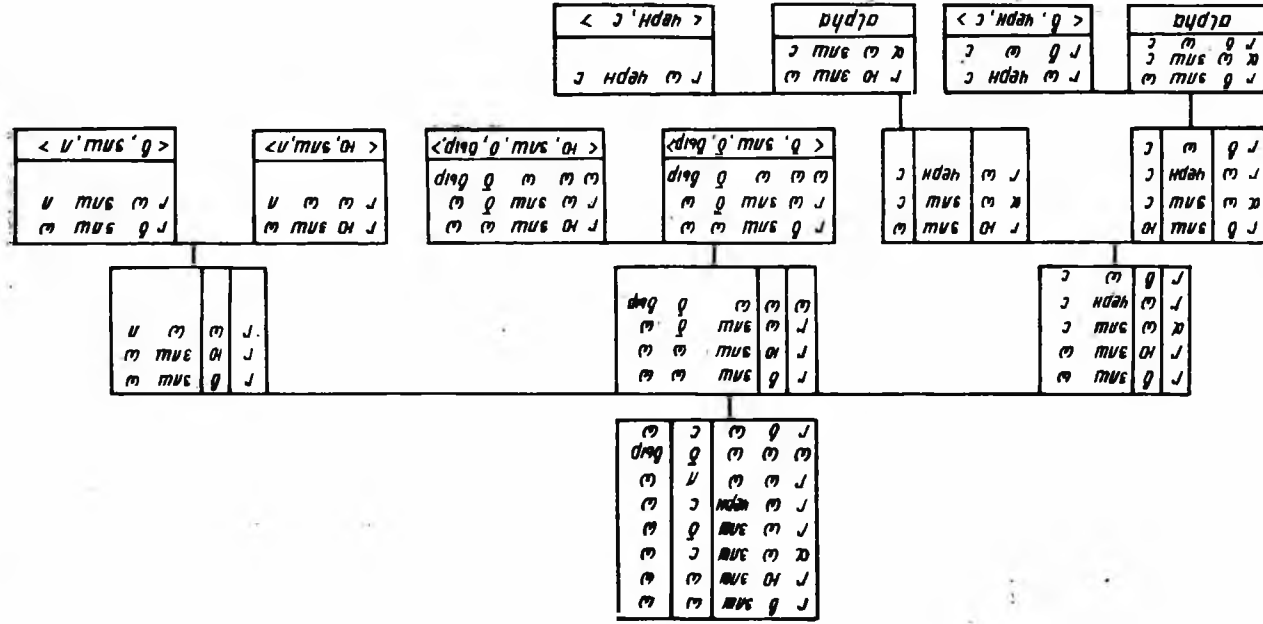
В распознаваемой ситуации обычно наблюдается некоторое количество атрибутов. Требуется доопределить значения других атрибутов — ненаблюдаемых. Например, тип ЛРУ, производительность леса (бонитет), преобладающая порода деревьев — атрибуты, которые являются понятиями, выработанными человеком. С этими понятиями связаны некоторые классификации леса, например, классификация по типам ЛРУ, которая содержит классы: черничник, брусничник, злаковошироколистный (ЗЛШ). О значении типа ЛРУ, породы или производительности можно судить на основе наблюдаемых или косвенно выводимых признаков.

Пусть в рассматриваемом примере распознаваемая ситуация описывается неполностью определенным предикатом

PE (СКЛОН: есть, КРУТИЗНА: 7°, ВОДОТОК: есть, ТИП ЛРУ: x , ПОРОДА: y).

Для определения значений x и y выберем из БЗ все утверждения, которые одновременно содержат значения аргументов ТИП ЛРУ и/или ПОРОДА и хотя бы одно из значений, входящих в PE других аргументов. Будут выделены все утверждения P1 ÷ ÷ P16. Однако некоторые утверждения должны быть исключены, так как они имеют значения аргументов, отличные от наблюдаемых в ситуации PE. Следует оставить утверждения P6, P7, P10 ÷ ÷ P15, которым соответствуют паттерны, совместимые с паттерном PE. Построим матрицу, строки которой соответствуют совместимым паттернам. Заметим, что атрибуты СКЛОН, КРУТИЗНА и ВОДОТОК в утверждении PE уже определены, поэтому соответствующие им столбцы можно не включать в матрицу. Кроме того, можно не учитывать те атрибуты, которые для всех паттерном принимают одно и то же значение: если это значение отлично от ω , то оно войдет в любое из решений.

Получим матрицу, изображенную в верхней части рисунка со столбцами, содержащими значения атрибутов БЫВАЕТ,



Пример применения процедуры разветвления

ЭКСПОЗИЦИЯ, ТИП ЛРУ, ПОРОДА, ВЫРУБКИ. К этой матрице применим процедуру разветвления, которая описана в [3] применительно к троичной матрице. Для проведения этой процедуры выбирается столбец В (на рисунке он выделяется вертикальными линиями), который содержит n значений соответствующего атрибута, отличных от α и ω , и $n \geq 2$. Вместо исходной матрицы в результате применения процедуры разветвления будет построено n матриц по следующему правилу: в i -ю матрицу включаются те строки из исходной матрицы, которые содержат либо i -е значение атрибута В ($i=1, 2, \dots, n$), либо ω . В полученной матрице производится удаление всех столбцов, которые содержат одно и то же значение атрибута, и строк, поглощаемых другими строками.

Если столбца, содержащего два или больше значений атрибута в матрице не найдется, то процесс ветвления в данной точке заканчивается и выписывается частичное решение как результат операции утончения над всеми строками матрицы.

Применение описанной процедуры разветвления к исходной матрице и полученные частичные решения демонстрируются рисунком. Предлагаемая процедура позволяет предъявить дешифровщику наиболее вероятные описания ситуации и тем самым помочь исследователю при решении задачи доопределения неизвестных значений атрибутов за счет значительного сокращения области поиска решения.

Список литературы: 1. *Болдырев Н. Г., Чебоксарова Т. Н.* Алгебраический подход к проблеме классификации//Изв. АН СССР. Сер. техническая кибернетика. 1977. № 2. С. 207—213. 2. *Найденова К. А.* Реляционная модель анализа экспериментальных данных//Изв. АН СССР. Сер. техническая кибернетика. 1982. № 4. С. 103—119. 3. *Болдырев Н. Г., Чебоксарова Т. Н.* Об использовании четверичных кодов для автоматизации синтеза комбинационных схем//Изв. ЛЭТИ. 1977. Вып. 217. С. 87—92.

Поступила в редколлегию 24.02.89

УДК 681.3.06 : 007.52

Н. Ю. ЯЩЕНКО, И. Н. ГРИНЕВИЧ

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РУССКОЙ МОРФОЛОГИИ

Традиционно анализ предложений расчленяется на морфологический, синтаксический и семантический.

Под морфологическим анализом (МА) понимается обработка словоформ вне связи с контекстом. Словоформой будем называть отрезок текста между двумя соседними пробелами. Функция МА состоит в идентификации словоформы и приписывании ей характеризующего ее комплекса морфологической информации (КМИ).

В основу алгоритма МА положены следующие принципы.

1) Принцип продуктивности словаря. Словарь содержит только продуктивный «строительный материал» — морфы, составляющие словоформы. Исходя из этих морфов, в конкретной системе правил морфологической интерпретации можно определить КМИ словоформы.

2) Принцип расширения словаря. Если при проведении МА оказывается, что по морфологическому составу вычислить КМИ словоформы затруднительно, так как один или несколько морфов, составляющих ее, не найдены в словаре, то эти морфы заносятся в словарь с приписанной им гипотетической морфологической информацией (МИ).

3) Принцип гипотетической основы. У анализируемой словоформы выделяется флексия и основа. При этом гипотетическая основа должна быть полностью без остатка представима как последовательность реальных морфов, среди которых есть по крайней мере один корневой, а сама последовательность должна быть допустима грамматикой.

4) Принцип минимальности гипотез. Интерпретация основы производит слева направо. Такое направление выбрано по следующим причинам: этот путь более соответствует интуитивному представлению о психологической реальности МА как компоненты понимания текста; он имеет минимальное возможное количество гипотез на всех этапах интерпретации, когда имеется выбор направления анализа [2]; так как префиксов в русском языке много меньше, чем суффиксов, то значительно легче выделить из основы префиксы и далее перейти к идентификации корня.

Алгоритм МА зависит от принятого в системе способа хранения информации. Существует два основных метода: декларативный и процедурный. В декларативном методе реализации МА в словаре системы хранятся все возможные словоформы каждого слова с приписанной им МИ. Задача декларативного МА состоит, таким образом, только в поиске словоформы в словаре и переписывании из словаря КМИ, соответствующего данной словоформе. К недостаткам декларативного МА относится необходимость хранения всех словоформ каждой основы. Количество различных словоформ у одной основы довольно велико (у существительного 12, у прилагательного 36, а у глагола с учетом отглагольных форм около сотни). Следствием значительного количества словоформ являются дополнительные затраты памяти ЭВМ, а также необходимость определения человеком всех словоформ слова и соответствующей им МИ перед записью их в словарь. Это увеличивает трудоемкость подготовки словарной информации. Однако декларативный метод наиболее удобен для основ, имеющих (образующих) только одну словоформу. К ним относятся неизменяемые существительные, местоимения, наречия, междометия и служебные части речи (предлоги, союзы и частицы).

При процедурном МА в словаре системы хранятся морфы, составляющие словоформы. Процедурный МА выполняет следующие функции: выделяет в словоформе составляющие ее морфы, идентифицирует их, находя в словаре и выбрав соответствующую им МИ, и приписывает данной словоформе соответствующий КМИ. КМИ состоит в общем случае из совокупности МИ-строк (пар: морф — МИ), являющихся морфологическими омонимами.

Реализация перечисленных выше принципов служит основой выбора процедурного метода МА. Построение словаря по этому методу делает естественным выбор реляционного аппарата. Реляционная модель данных представляет собой набор отношений, которые преобразуются, изменяются во времени. Кроме того, в реляционной алгебре и исчислении имеется набор понятий и операций, которые позволяют, во-первых, записывать любое отношение в виде некоторой формулы или формального выражения (α -выражения), во-вторых — производить преобразование отношений (α -выражений). Алгебра и исчисление считаются реляционно полными, так как для любого набора отношений R_1, R_2, \dots, R_n выражения алгебры или исчисления позволяют определить любое отношение, определяемое из R_1, R_2, \dots, R_n с помощью α -выражений [4]. Это служит гарантом того, что если какое-либо отношение (морф с соответствующей ему МИ) хранится в словаре, то оно будет обязательно найдено.

Таким образом, при реляционном подходе словарь на логическом уровне удобно рассматривать как набор отношений, изменяющихся во времени. Весь словарь разбивается на части, каждая из которых представляет собой отношение в смысле реляционной алгебры. Имя отношения имеет смысловую нагрузку. Так, отношение с именем НОСНОВ содержит слова, которые не изменяют свою форму в русском языке. Это неизменяемые существительные, местоимения, наречия, междометия, союзы и частицы. Домены, содержащиеся в этом отношении, перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Имена доменов отношения НОСНОВ	Значения доменов (грамматические категории)
ИМЯ ЧР	Словоформа Часть речи (сущ., мест., нар., союз, частица, междометие)
ОДУШ	Одушевленность (сущ.)
СН	Собственное или нарицательное (сущ.)
РОД	Род (сущ. мест.)
ЧСЛ	Число (сущ. мест.)
Падеж	Падеж (мест.)
ЛИЦ	Лицо (мест.)
РАЗР	Разряд (мест.)
ГРЗН	Морфологические признаки наречий, союзов, частиц и междометий

Отношение с именем ПРЕДЛ содержит предлоги. Домены этого отношения перечислены в табл. 2. Выделение такого отношения обусловлено тем, что в русском языке предлоги могут быть производными, т. е. образованными от других частей речи. И эту не однозначность необходимо учитывать.

Таблица 2

Имена доменов отношения ПРЕДЛ	Значения доменов
ИМЯ	Словоформа
ЧР	Часть речи (предлог)
ВПП	Значение предлога: временной, причинный, пространственный
ПРОИЗ	Производность

Все коренные морфы словоформ хранятся в отношении с именем ОСНОВ. Это отношение включает два домена, один из которых (с именем ИМЯ) имеет значением непосредственно морф; второй (с именем ЧР) содержит информацию о том, какой частью речи будет словоформа, содержащая данный морф. Такие же домены содержат отношения с именами ОКОНЧ и СОЧСУФ, в которых хранится информация о флексиях и всех возможных сочетаниях суффиксов соответственно.

Все префиксы содержатся в отношении именем ПРИСТ, включающем только один домен — ИМЯ, так как префиксы не несут в себе никакой морфологической информации и служат лишь для вычисления корня.

Отношения ОСНОВ, ОКОНЧ, СОЧСУФ — сложные, так как значения доменов ЧР в этих отношениях сами являются именами отношений, содержащих морфологические признаки данной части речи. Так, значение домена ЧР, например СУШ — имя отношения со следующими доменами: ИМЯ, ЧР, СКЛ — склонение существительного, ОДУШ — одушевленное существительное или неодушевленное, СН — собственное или нарицательное, РОД — род существительного и ЧСЛ — число; а значение ГЛАГ — именем отношения с доменами: ИМЯ, ЧР, ВИД — вид глагола, ПЕР — переходность, СПР — спряжение, ВР — время и ЛИЦ — лицо.

Необходимость такой иерархической структуры словаря вызвана следующими причинами: она позволяет экономней использовать память словаря, так как различные части речи имеют свою специфику морфологической информации, например, существительные имеют склонение, а глаголы — спряжение; идентификация корня при такой организации осуществляется по принципу видимости [3], что позволяет упорядочить отношения и тем самым повысить эффективность операции поиска.

Алгоритм МА начинает работу с предположения, что поступившая словоформа является неизменяемой, т. е. хранится в отношении НОСНОВ или ПРЕДЛ. Следовательно, первая часть МА должна ре-

ализовать поиск словоформы в указанных отношениях. Отрицательный результат говорит о том, что необходимо продолжить анализ, считая, что эта словоформа представляет собой одну из форм какой-либо изменяемой основы. В этом случае алгоритм МА при своей работе должен реализовать две основные функции: выделение из словоформы последовательности реальных морфов; поиск полученной таким образом морфемы в соответствующем отношении.

Для реализации первой функции входное выражение X (словоформа, подвергаемая интерпретации) подается в виде вектор-строки $X = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, где $\alpha_i, i=1, n$ — буквы, составляющие словоформу.

Вводится вектор-столбец переменной длины, имеющий первым элементом 1: $e_1(n)$ и матрица переменной размерности $G(n, n-1)$, сформированная из единичной матрицы $E(n-1, n-1)$ добавлением в качестве первой нулевой строки, где n — длина вектора X .

Результатом умножение вектор-строки X на вектор-столбец $e_1(n)$ является первый элемент вектора X (первая буква словоформы):

$$Xe_1(n) = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \Bigg\} n = \alpha_1.$$

Преобразование входной словоформы осуществляется по праву:

$$X' = XG = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} = (\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n),$$

где X' — вектор-строка размерности $(n-1)$.

Описанная процедура, применяемая рекурсивно, позволяет формировать последовательность реальных морфов длины от 1 до n .

Используя операции реляционной алгебры, поиск выделенного морфа в соответствующем отношении представим в виде α -запроса.

Если P — выделенный морф, а Q — имя отношения, то α -выражение будет иметь вид

$$v[\text{ИМЯ}, \text{ЧР}] / (v \in Q) \wedge (v[\text{ИМЯ}] = P).$$

Морф P последовательно принимает значение флексии, префикса, корня и суффикса. Результатом вычисления α -запроса для соответствующего морфа будет новое отношение, состоящее из доменов ИМЯ и ЧР. Значением домена ИМЯ будет морф P , домен ЧР будет содержать части речи, в образовании которых данный морф может принимать участие.

Алгоритм работы МА рассмотрим на примере интерпретации словоформы {переулки}. Первая часть МА, т. е. поиск данной словоформы в отношениях НОСНОВ и ПРЕДЛ, содержащих неизменяемые словоформы, даст отрицательный результат. Таким образом, словоформа {переулки} представляет собой одну из форм изменяемой основы. Поэтому следуя принципу гипотетической основы, у анализируемой словоформы необходимо выделить флексию и основу.

Для выделения флексии производится разбор справа налево, т. е. у входной словоформы $X = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ последовательно выбираются последние элементы (буквы) a_n, a_{n-1} и так далее, из которых формируется гипотетическая флексия {и}.

Поиск выделенной флексии в отношении ОКОНЧ представим в виде α -запроса:

$$v_{ок} [ОИМЯ, ЧР] / (v_{ок} \in ОКОНЧ) \wedge (v_{ок} [ОИМЯ] = \{и\}).$$

Результатом вычисления α -запроса будет новое отношение $v_{ок}$, равное *NIL* — пустое отношение, если гипотетическая флексия не найдена в словаре, либо будет состоять из доменов ОИМЯ и ЧР, где домен ЧР содержит части речи, в которых может встречаться данная флексия. Так, для флексии {и} словоформы {переулки} отношение $v_{ок}$ примет вид:

$v_{ок} [ОИМЯ, ЧР]$	
	и СУЩ
	и КРПР
	и ГЛАГ

Интерпретация основы, оставшейся после выделения флексии, происходит по принципу минимальности гипотез слева направо.

Выделяя буквы слева направо, формируется гипотетический префикс. Для каждого варианта вычисляется запрос к отношению ПРИСТ:

$$v_{пр} [ПИМЯ] / (v_{пр} \in ПРИСТ_{пр}) \wedge (v_{пр} [ПИМЯ] = \{a\}),$$

где {a} — вариант гипотетического префикса, длиной не более 7 букв; $v_{пр}$ — отношение, включающее домен ПИМЯ, если гипотетический префикс найден в словаре, либо *NIL*.

В рассматриваемом примере {a} последовательно принимает значения {п}, {пе}, {пер}, {пере}. Таким образом, исходная словоформа примет вид {улк}.

Дальнейшее выделение букв служит для формирования гипотетического корня. Поиск его в отношении ОСНОВ представим в виде α -запроса:

$$v_{осн} [ИМЯ, ЧР] / (v_{осн} \in ОСНОВ) \wedge (v_{осн} [ИМЯ] = \{a\}).$$

Здесь {a} — вариант гипотетического корня; $v_{осн}$ — отношение, включающее домены ИМЯ и ЧР, если корень найден в словаре, либо *NIL*.

В примере {а} последовательно принимает значение {у}, {ул}.
Для корня {ул} отношение $v_{\text{осн}}$ примет вид

$$v_{\text{осн}}[\text{ИМЯ}, \text{ЧР}]$$

ул	СУЩ
ул	ПРИЛ.

Если после выделения корня исходная последовательность букв не пуста, то формируются две гипотезы: о наличии у словоформы суффикса; словоформа является многокоренной.

Так как словарь СОЧСУФ хранит все возможные сочетания суффиксов, то целесообразно оставшуюся последовательность исследовать на гипотетический суффикс, вычисляя α -запрос:

$$v_{\text{суф}}[\text{СИМЯ}, \text{ЧР}] / (v_{\text{суф}} \in \text{СОЧСУФ}) \wedge (v_{\text{суф}}[\text{СИМЯ}] = \{a\}),$$

где {а} — оставшаяся последовательность букв; $v_{\text{суф}}$ — отношение, включающее домены СИМЯ и ЧР, если суффикс найден в словаре, либо *NIL*.

В данном примере суффиксом является {к} и отношение имеет вид

$$v_{\text{суф}}[\text{СИМЯ}, \text{ЧР}]$$

к	СУЩ
к	ПРИЛ
к	ГЛАГ.

Если результатом вычисления α -запроса является *NIL*, то в качестве рабочей рассматривается гипотеза о многокоренной словоформе.

Дальнейшая работа алгоритма МА связана с реализацией α -запроса:

$$v[\text{ЧР}] / (v \in v_{\text{ок}}) \wedge (v_1 \in v_{\text{осн}}) \wedge (v_2 \in v_{\text{суф}}) \wedge (v_1[\text{ЧР}] = \\ = v_2[\text{ЧР}]) \wedge (v[\text{ЧР}] = v_1[\text{ЧР}]) \wedge (v[\text{ЧР}] = v_2[\text{ЧР}]),$$

в котором, применяя операцию θ -соединения по домену ЧР к отношениям $v_{\text{ок}}$, $v_{\text{осн}}$ и $v_{\text{суф}}$, получаем новое отношение v .

Операция θ -соединения позволяет объединять строки различных отношений по критерию сравнения элементов:

$$v_{\text{ок}}[\text{ЧР} = \text{ЧР}] v_{\text{осн}} = \{(x_{\text{ок}}, x_{\text{осн}}) : (x_{\text{ок}} \in v_{\text{ок}}) \wedge (x_{\text{осн}} \in v_{\text{осн}}) \wedge \\ \wedge ((x_{\text{ок}}[\text{ЧР}] = x_{\text{осн}}[\text{ЧР}]))\},$$

где $x_{\text{ок}}$ — элемент домена ЧР отношения $v_{\text{ок}}$; $x_{\text{осн}}$ — элемент домена ЧР отношения $v_{\text{осн}}$.

Если $v_{\text{ок}}[\text{ОИМЯ}, \text{ЧР}]$ и $v_{\text{осн}}[\text{ИМЯ}, \text{ЧР}]$

и	СУЩ	ул	СУЩ
и	КРПР	ул	ПРИЛ
и	ГЛАГ,		

то $v_{ок}[ЧР = ЧР] v_{осн}[ОИМЯ, ИМЯ, ЧР]$
и ул СУЩ.

Применив операцию θ -соединения к вновь полученному отношению и отношению $v_{суф}$, получим отношение

$v[ОИМЯ, ИМЯ, СИМЯ, ЧР]$
и ул к СУЩ.

Результатом применения операции проекции по домену ЧР является отношение v' , включающее единственный домен ЧР. Значение домена ЧР есть имя отношения. В данном случае — СУЩ.

Реализуя принцип видимости, дальнейший поиск морфологической информации осуществляется с помощью α -запроса:

$v[ЧР, ОДУШ, СН, СКЛ, РОД, ЧСЛ, ПАДЕЖ]/(v \in ОКСУЩ) \wedge$
 $\wedge (v_1 \in СУЩ) \wedge (v_2 \in СУФСУЩ) \wedge (v[РОД] =$
 $= v_1[РОД]) \wedge (v[РОД] = v_2[РОД]) \wedge (v[СКЛ] = v_1[СКЛ]).$

Вычисление данного α -запроса основано на применении операции θ -соединения и проекции, рассмотренных выше. Результатом вычисления α -запроса будет новое отношение, состоящее из МИ-строк для данной словоформы.

Для словоформы {переулки} результирующим будет отношение $v_{рез}$:

$\overline{v}_{рез}[ЧР, ОДУШ, СН, СКЛ, РОД, ЧСЛ, ПАДЕЖ]$
СУЩ Н Н 2 М МН ИМ.

Список литературы: 1. Преображенский А. Б., Хорошевский В. Ф. Система разбора ограниченных естественных языков//Человеко-машинные системы. М., 1977. С. 13—20. 2. Демьянков В. З. Морфологическая интерпретация текста и структура словаря//Вопр. кибернетики: Общение с ЭВМ на естественном языке/Под ред. Розенцвейга. Вып. 80. 1982. С. 75—90. 3. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. М., 1982. 306 с. 4. Кузин Л. Т. Основы кибернетики, Т. 2. Основы кибернетических моделей. М., 1970. 584 с.

Поступила в редколлегию 09.03.89

УДК 681.32

Г. А. МИРОНОВ, д-р техн. наук, Р. З. САГДЕЕВА

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЛЯЦИОННОГО ИНТЕРФЕЙСА ОБЪЕКТНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Современная архитектура СУБД предполагает сочетание единственной концептуальной модели с произвольным числом внешних моделей данных [1]. Введение различных моделей приводит к проблеме отображения концептуальной модели предметной об-

ласти в различные внешние модели, поддерживаемые конкретными СУБД. Необходимость решения проблемы отображения моделей данных возникла и в связи с исследованиями в области распределенных баз данных [2] для обеспечения одновременного доступа к данным, организованным в рамках различных СУБД. Проблема отображения моделей данных приобретает важное значение в связи с распространением персональных компьютеров и объединением их в сети. СУБД являются обязательными компонентами таких систем. Разработка методов и средств отображения моделей данных позволит продвинуться на пути автоматизации построения программных процессоров отображения, которые предоставят пользователю интерфейс со множеством СУБД.

В проблеме отображения моделей данных выделяются три аспекта: отображение структур, данных и операций. В зависимости от ограничений, накладываемых на отображение, выделяются следующие проблемы различной степени сложности [3]. Отображение структур без отображения данных и операций связано с проблематикой трансляции схемы, которая возникает в процессе проектирования схемы. Если при этом отображаются операции, то это проблема трансформации операций. При отображении структур и данных без отображения операций возникает проблема конвертирования баз данных, которая включает проблему трансляции схемы. Проблема интеграции неоднородных баз данных включает весь спектр проблем, связанных с отображением моделей данных: отображение структур, данных и операций.

Использование объектно-характеристической модели [4] в качестве концептуальной делает актуальной задачу отображения ее в модель данных, поддерживаемую конкретной СУБД, в качестве которой выбрана СУБД реляционного типа dBASE III как наиболее распространенная для персональных компьютеров [5]. При этом возникает необходимость отображения структур и данных без отображения операций, поскольку СУБД предоставляет средства манипулирования данными. Следовательно, возникает задача конвертирования базы данных, организованной в рамках объектно-характеристической модели, в реляционную базу данных.

В статье рассматривается подход к решению задачи конвертирования, реализующий реляционный интерфейс объектно-характеристической модели и заключающийся в создании интерпретирующего транслятора исходной модели в целевую.

Структурные компоненты объектно-характеристической модели включают аспектные деревья связи объектов, аспектные деревья связи характеристик, замыкающиеся соответственно на строки и столбцы матрицы.

Для задания структурных компонентов разработан язык их спецификации. Лексика языка представляет собой набор лексических единиц, в который входят ключевые слова, разделители, имена для идентификации внутрипрограммных объектов, имена для идентификации понятий объектно-характеристической таблицы, константы;

Язык спецификации структурных компонентов включает: средства задания бинарных структурных связей между объектами (характеристиками) внутри аспектных деревьев:

СВЯЗЬ { ОБЪЕКТА
ХАРАКТЕРИСТИКИ } <имя 1> УРОВНЯ <имя уровня>
(1)
С <имя 2> В АСПЕКТЕ <имя аспекта>;

средства задания элементов данных матрицы и ассоциативных связей между аспектными деревьями и элементами данных матрицы:

ДЛЯ ОБЪЕКТА <имя объекта> В АСПЕКТЕ <имя аспекта> [, ОБЪЕКТА <имя объекта> В АСПЕКТЕ <имя аспекта> ...] И ХАРАКТЕРИСТИКИ <имя характеристики> В АСПЕКТЕ <имя аспекта> [, ХАРАКТЕРИСТИКИ <имя характеристики> В АСПЕКТЕ <имя аспекта> ...] ЗНАЧЕНИЕ = <константа>.

Кроме того, язык спецификации структурных компонентов содержит циклические конструкции, позволяющие задавать значения одной характеристики для указанного множества объектов (часть столбца) и значения множества характеристик для указанного объекта (часть строки).

Реализация реляционного интерфейса объектно-характеристической модели сводится к трансляции предложений языка спецификации структурных компонентов в файлы базы данных СУБД dBASE III.

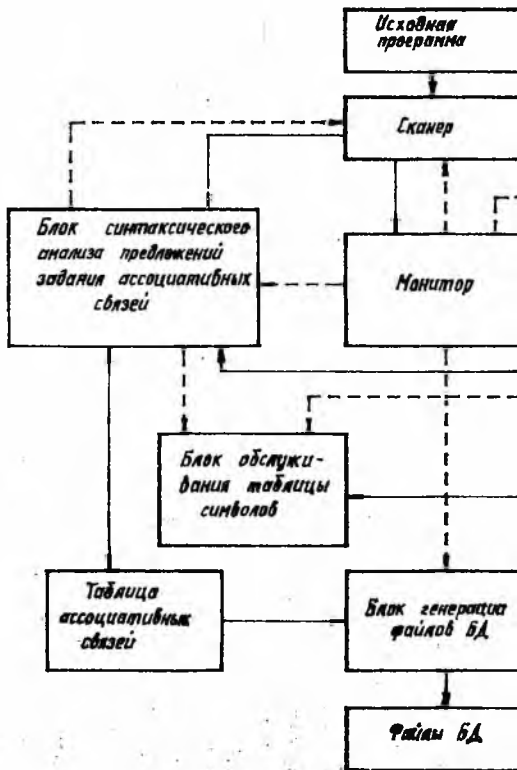
На рисунке представлена структура и взаимодействие блоков транслятора, включающего следующие компоненты: монитор; сканер (лексический анализатор); блок синтаксического анализа предложений задания структурных связей; блок синтаксического анализа предложений задания ассоциативных связей; блок обслуживания таблицы символов; блок генерации EХТ-таблиц; блок генерации файлов базы данных.

Монитор управляет работой транслятора, осуществляя запуск необходимых блоков.

Сканер предназначен для считывания лексических единиц, распознавания их типа и выдачи лексемы и набора указателей, включающего тип и номер лексемы. Сканер распознает следующие типы лексем: ключевые слова: СВЯЗЬ, ОБЪЕКТ, ХАРАКТЕРИСТИКА, АСПЕКТ, УРОВЕНЬ, С, В, ДЛЯ, ЗНАЧЕНИЕ, МАСШИБ, СТРОКА; разделители: '—', '!', '!' ; идентификаторы внутрипрограммных объектов — переменные длиной до 8 символов; имена понятий объектно-характеристической таблицы — символьные строки длиной до 32 символов; константы: числовые, числовые именованные, интервалы, именованные интервалы, символьные.

Блок синтаксического анализа предложений задания структурных связей осуществляет синтаксический анализ предложений вида (1), поиск синтаксических ошибок, выдачу сообщений об ошиб-

Структура реляционного интерфейса



Блок синтаксического
анализа предложения
зависания структурных
связей в аспектных
деревьях

INT-
таблицы

Таблица
символов

EXT-
таблицы

Блок
генерации
EXT-таблиц

ках, заполнение таблицы символов и внутренних аспектных таблиц (INT-таблиц). INT-таблица заполняется для каждого аспектного дерева, при этом строка соответствует бинарной связи «потомок-предок».

Блок синтаксического анализа предложений задания ассоциативных связей осуществляет синтаксический анализ предложений вида (2), поиск синтаксических ошибок, выдачу сообщений об ошибках и заполнение таблицы ассоциативных связей, в которую заносятся значения характеристик с ассоциативными связями.

Блок генерации EХТ-таблиц создает для каждой внутренней аспектной таблицы внешнюю аспектную таблицу (EХТ-таблицу), соответствующую стандартному представлению данных в СУБД dBASE III.

Блок обслуживания таблицы символов осуществляет взаимодействие блоков синтаксического анализа с таблицей символов.

Блок генерации файлов базы данных на основании таблицы ассоциативных связей и EХТ-таблиц создает файлы базы данных, принятые в СУБД dBASE III.

На рисунке выделены связи блоков транслятора по данным (непрерывные линии) и по управлению (штриховые линии).

По считанному сканером ключевому слову монитор осуществляет вызов соответствующего блока синтаксического анализа, который в дальнейшем сам вызывает сканер до обнаружения конца предложения. Блок синтаксического анализа, блок генерации EХТ-таблиц создают ряд промежуточных таблиц, после этого монитор запускает программу генерации файлов базы данных.

В основу создания реляционного интерфейса положен разработанный метод отображения объектно-характеристической модели в реляционную, заключающийся в отображении структурных компонентов объектно-характеристической модели в отношении R_o , R_x , R_m . Отношение R_o интерпретирует на реляционном уровне структурные связи внутри аспектных деревьев связи объектов и ассоциативные связи аспектных деревьев со строками матрицы; отношение R_x интерпретирует на реляционном уровне структурные связи внутри аспектных деревьев связи характеристик и ассоциативные связи аспектных деревьев со столбцами матрицы; отношение R_m интерпретирует элементы данных матриц с указанием ассоциативных связей.

Процесс конвертирования базы данных, организованной в рамках объектно-характеристической модели, в реляционную базу данных делится на четыре этапа.

1. Перенос данных из объектно-характеристической таблицы в промежуточные таблицы (INT-таблицы для структурных связей и таблицу ассоциативных связей). При этом осуществляется чтение строк программы, распознавание лексических единиц, распознавание конструкций языка, заполнение таблицы символов, таблицы ассоциативных связей и внутренних аспектных таблиц.

2. Переформатирование внутренних аспектных таблиц для по-

лучения стандартного представления данных, принятого в СУБД III dBASE III (получение EХТ-таблиц).

3. Реструктуризация EХТ-таблиц для получения формы представления целевых таблиц R_o , R_x , R_m .

4. Преобразование данных в целевой формат.

Таким образом, транслятор реализует реляционный интерфейс объектно-характеристической модели, который позволяет совместить простоту реляционной модели с семантической выразительностью объектно-характеристической модели.

Список литературы: 1. ANSI/X3/SPARCDBMS Framework//Inf. Syst. 1978. № 3. P. 173—191. 2. Калиниченко Л. А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. М., 1983. 423 с. 3. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. М., 1985. 344 с. 4. Миронов Г. А., Пивоваров В. Ф. Принципы построения программного обеспечения для интегрированных автоматизированных систем управления//Программирование. 1987. № 5. С. 62—74. 5. Крамм Р. Система управления базами данных dBASE II и dBASE III для персональных компьютеров. М., 1988. 383 с.

Поступила в редколлегию 03.03.89

УДК 681.32

Р. З. САГДЕЕВА

ОБ ОТОБРАЖЕНИИ ОХТ-МОДЕЛИ В РЕЛЯЦИОННУЮ

Объектно-характеристическая модель данных, в основе которой лежит объектно-характеристическая таблица [1], является средством концептуального моделирования в автоматизированных системах организационного управления. Возникает задача отображения объектно-характеристической модели (ОХТ-модели) в модель данных, поддерживаемую СУБД, в качестве такой модели выбрана расширенная реляционная модель [2].

На рис. 1 представлены структурные компоненты ОХТ-модели, в которой выделяются аспекты классификации объектов и характеристик, объединяемых названием «признаки». Внутри каждого аспекта признаки объединяются в древовидные структуры, которые называются аспектными деревьями связи признаков. В каждом аспектном дереве выделяются семантические понятия — уровни, которые имеют уникальные имена. Входами в матрицу по строкам являются концевые признаки аспектных деревьев связи объектов, входами в матрицу по столбцам — концевые признаки аспектных деревьев связи характеристик.

Введем следующие обозначения: N_a — имя аспекта; U_i — имя i -го уровня аспектного дерева; P^{U_i} — множество признаков уровня U_i ; P^* — корень аспектного дерева.

Введем понятия ветви аспектного дерева L и длины ветви l .

Определение 1. Назовем j -й ветвью аспектного дерева совокупность признаков, составляющих j -й селектирующий путь* от корня аспектного дерева к конечному признаку $L_j = \langle P^*, P^{U_n}, P^{U_{n-1}}, \dots, P^{U_1} \rangle$.

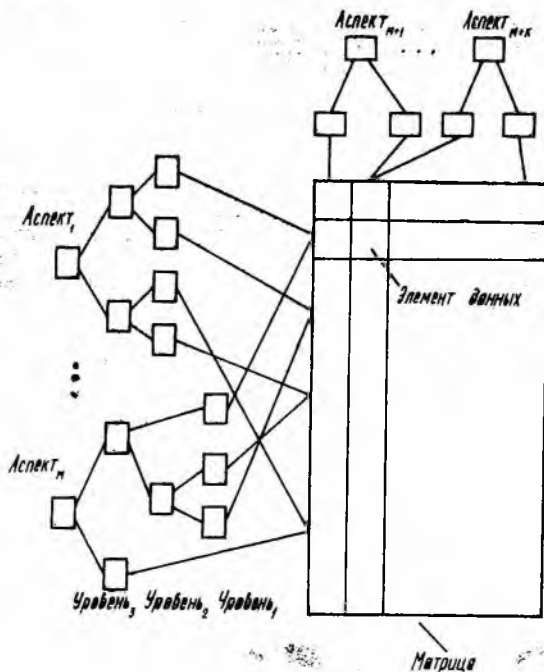


Рис. 1. Структурные компоненты ОХТ-модели

Определение 2. Назовем длиной l_j ветви L_j аспектного дерева количество признаков, лежащих на селектирующем пути от корня аспектного дерева до конечного признака.

Обозначим через l_{\max} максимальную длину ветвей аспектного дерева. Нерегулярность структуры аспектного дерева, принадлежность конечных признаков различным уровням приводит к тому, что ветви аспектного дерева имеют длину $l \leq l_{\max}$.

ОХТ-модель относится к классу семантически-ориентированных моделей, отсутствует априорно заданная схема. Под ОХТ-моделью будем понимать четверку: $M_{\text{охт}} = \langle I, E, P, M_p \rangle$, где I — интенционал ОХТ-модели; E — экстенционал ОХТ-модели; P — множество процедур языка манипулирования данными (ЯМД); M_p — семантическая функция ЯМД.

Интенционал ОХТ-модели включает совокупность идентификаторов структурных компонентов, структурные связи в аспектных деревьях и логические связи между аспектными деревьями и матрицей.

* Понятие селектирующего пути введено в [3].

Экстенционал ОХТ-модели представляет собой множество допустимых состояний базы данных (БД) и включает совокупность признаков аспектных деревьев и элементы данных (значения характеристик) матрицы.

Семантическая функция ЯМД представляет собой отображение множества процедур в изменение экстенционала: $M_P: P \rightarrow [E \rightarrow E]$. В [3] реляционная модель данных определяется как четверка:

$$M_R = \langle S, M_S, O, M_O \rangle.$$

Здесь S — множество схем; M_S — семантическая функция языка описания данных; O — множество операторов ЯМД; M_O — семантическая функция ЯМД. M_S определяется как отображение множества схем в множество допустимых состояний: $M_S: S \rightarrow B$, где B — множество допустимых состояний. M_O определяется как отображение множества операторов в изменение состояния БД: $M_O: O \rightarrow [B \rightarrow B]$.

Постановка задачи отображения ОХТ-модели в реляционную формулируется следующим образом: для интенционала и экстенционала ОХТ-модели получить реляционную схему и ассоциированную с ней базу данных так, чтобы произвольная операция ЯМД реляционной модели могла быть реализована средствами ЯМД ОХТ-модели.

Отображение ОХТ-модели в реляционную представляет собой совокупность отображений: интенционала ОХТ-модели в множество схем реляционной БД: $\sigma: I \rightarrow S$; экстенционала ОХТ-модели в множество состояний реляционной БД: $\varphi: E \rightarrow B$; операторов ЯМД реляционной модели в цепочку процедур ЯМД ОХТ-модели: $\epsilon: O \rightarrow P$.

Для построения отображения ОХТ-модели в реляционную необходимо преобразовать структурные компоненты ОХТ-модели в структурные компоненты реляционной модели и каждый оператор ЯМД реляционной модели транслировать в цепочку процедур ЯМД ОХТ-модели.

На рис. 2 приведена диаграмма отображения структурных компонентов. Критерием эквивалентности преобразования структурных компонентов является условие коммутативности приведенной диаграммы, означающее, что множество состояний БД, получаемых посредством отображения $M_S: S \rightarrow B$ реляционных схем S , полученных, в свою очередь, в результате преобразования $\sigma: I \rightarrow S$ интенционала ОХТ-модели, в множество состояний B , должно совпасть с множеством состояний, полученных отображением экстенционала ОХТ-модели $\varphi: E \rightarrow B$, т. е. $M_S \circ \sigma = \varphi$.

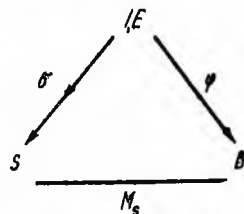


Рис. 2. Диаграмма отображения структурных компонентов

Условие коммутативности означает, что на реляционном уровне должны быть сохранены все структурные и логические зависимости, присущие ОХТ-модели. Представление структурных зависимостей

ОХТ-модели на реляционном уровне обеспечивается посредством следующего подхода. Каждому аспектному дереву связи признаков ставится во взаимно однозначное соответствие отношение в реляционной БД со схемой $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ так, что имя аспекта отображается в имя отношения $N_a \rightarrow R$, а имена уровней отображаются в имена атрибутов $U_i \rightarrow A_i (i = \overline{1, n})$.

Реализация отношения R формируется так, что каждый кортеж $r_j \subset R$ соответствует ветви аспектного дерева с максимальной длиной $l = l_{\max}$. Так как в аспектном дереве допускаются ветви с длиной $l \leq l_{\max}$, то возникает необходимость введения в кортеж неопределенных значений, если длина рассматриваемой ветви $l < l_{\max}$, т. е. проекция кортежа r_j на атрибут, соответствующий уровню U_i , на котором признак отсутствует, принимает неопределенное значение (\perp). Признаки уровня U_i отображаются в атрибуты отношения R с именами A_i . Для формирования ключа отношение R расширяется введением дополнительного искусственного атрибута, состоящего из концевых признаков аспектного дерева. Этому атрибуту присваивается имя P^* .

Далее приведен алгоритм преобразования аспектного дерева в тип отношения.

А л г о р и т м.

Вход: аспектное дерево связи признаков с именем N_a , именами уровней $U_i (i = \overline{1, n})$, P^* — признак, являющийся корнем аспектного дерева; $P_{L_j}^{U_i}$ — одноэлементное множество, включающее признак, принадлежащий уровню U_i и ветви L_j .

Выход: отношение R со схемой $R(A_0, A_1, \dots, A_n)$, взаимно однозначно соответствующее аспектному дереву связи признаков.

М е т о д:

А. Формирование схемы отношения: отображение имени аспекта в имя отношения $N_a \rightarrow R$; отображение имен уровней в имена атрибутов $U_i \rightarrow A_i (i = \overline{1, n})$; отображение $P^* \rightarrow A_0$.

Б. Формирование реализации отношения.

1. Выбрать очередную ветвь L_j аспектного дерева.
 2. Выбрать одноэлементное множество $P_{L_j}^{U_i}$.
 3. Проверка равенства $P_{L_j}^{U_i}$ пустому множеству. Если $P_{L_j}^{U_i} = \emptyset$, то проекция кортежа $r_j \subset R$, соответствующего ветви L_j аспектного дерева, на атрибут $A_i = U_i$ принимает неопределенное значение, т. е. $r_j[U_i] = \perp$. Переход к п. 4.
- Если $P_{L_j}^{U_i} \neq \emptyset$, то проекция кортежа $r_j[U_i]$ принимает значение признака. Запись первого $P_{L_j}^{U_i}$, отличного от \emptyset , в качестве значения ключа. Переход к п. 4.

4. Проверка на прохождение всей ветви L_j . Если нет, то переход к признаку следующего уровня и переход к п. 3. Если да, то переход к п. 5.

5. Проверка прохождения всех ветвей аспектного дерева. Если да, то выход, если нет, то переход к другой ветви и к п. 2.

Представление логических зависимостей между объектами, характеристиками и значениями характеристик реализуется на реляционном уровне следующим образом. Каждый столбец матрицы интерпретируется на реляционном уровне отдельным отношением, включающим также составной ключ, определенный на доменах, соответствующих конечным признакам аспектных деревьев связи объектов. Этот составной ключ является идентификатором элементов данных столбца матрицы.

Схема отношения включает имена атрибутов, взаимно однозначно соответствующих именам аспектов аспектных деревьев связи объектов. Имена конечных признаков, являющихся входами в матрицу по столбцу, преобразуются в имя отношения.

Таким образом, для представления структурных компонентов ОХТ-модели введены два типа отношений, один из которых интерпретирует аспектное дерево связи признаков, другой — столбец матрицы. Количество отношений первого типа определяется количеством аспектных деревьев, количество отношений второго типа — количеством столбцов матрицы.

Введенных таким образом отношений достаточно для представления всех структурных и логических зависимостей ОХТ-модели, т. е. диаграмма рис. 2 коммутрует. В самом деле, пусть некоторое отношение R_A соответствует аспектному дереву связи признаков. Каждая ветвь аспектного дерева интерпретируется на реляционном уровне кортежем $r_i \in R_A$, включающим признаки, находящиеся на этой ветви. Пусть также некоторое отношение R_M соответствует столбцу матрицы. Взаимосвязь аспектных деревьев с элементом данных столбца матрицы интерпретируется на реляционном уровне кортежем $r_i \in R_M$, включающим элемент данных и составной ключ, состоящий из конечных признаков аспектных деревьев связи объектов.

При отображении операторов ЯМД реляционной модели в цепочку процедур ЯМД ОХТ-модели достаточно рассмотреть лишь операторы обновления данных языка SQL [4], которые вызывают изменение состояния БД: INSERT, DELETE, UPDATE.

Интерпретация оператора INSERT INTO $R(A_1, \dots, A_n)$ VALUES Z_1, \dots, Z_n . Если отношение R интерпретирует аспектное дерево связи признаков, то оператор INSERT означает включение новой ветви, и основные действия по интерпретации оператора INSERT следующие. 1. Проверка существования аспектного дерева с именем аспекта, соответствующим имени отношения R . Если такое аспектное дерево в БД не найдено, то переход к п. 2. Если аспектное дерево найдено, то переход к п. 4. 2. Обращение к процедуре PRAØ27A для записи имени аспекта. 3. Обращение в цикле последовательно к процедурам PRAØ27A и PRAØ28A для заведения ветви, соответствующей кортежу z_1, \dots, z_n . Конец. 4. Проверка существования в аспектном дереве признаков, соответствующих значениям z_1, \dots, z_n . Для признаков, не найденных в аспек-

ном дереве, обращение к процедурам PRAØ27A и PRAØ28A для записи признака и установления связей с признаком, которому он подчинен, и признаками, которые ему непосредственно подчинены.

Если отношение R интерпретирует элементы столбца матрицы, то основные действия при интерпретации оператора INSERT следующие.

1. Контроль возможности применения оператора INSERT для заданной комбинации z_1, \dots, z_{n-1} (проверка существования конечных признаков аспектных деревьев, соответствующих z_1, \dots, z_{n-1}). Если хотя бы одного признака не найдено, то оператор не может быть выполнен. Если все конечные признаки найдены, то переход к п. 2.

2. Обращение к процедуре PRAØ29A для включения элемента данных z_n в матрицу. Выполнению операторов DELETE и UPDATE предшествует выбор кортежей, что интерпретируется оператором выбора данных ЯМД ОХТ-модели. Поэтому при интерпретации операторов DELETE и UPDATE будем считать, что требуемый кортеж уже найден в БД.

Основные действия при интерпретации оператора DELETE r FROM R следующие.

1. Если отношение R интерпретирует аспектное дерево, то обращение в цикле последовательно к процедурам PRAØ27B и PRAØ28B для удаления ветви, соответствующей кортежу r .

2. Если отношение R интерпретирует элементы данных матрицы, то обращение к процедуре PRAØ29B для удаления соответствующего элемента данных.

Основные действия при интерпретации оператора UPDATE R SET $A_i = z_i$ следующие.

1. Если отношение R интерпретирует аспектное дерево связи признаков, то обращение к процедуре PRAØ27C для изменения признака, соответствующего z_i .

2. Если отношение R интерпретирует элементы данных матрицы, то контроль возможности применения оператора UPDATE к A_i , затем обращение к процедуре PRAØ29C для изменения элемента данных.

Следовательно, ОХТ-модель и реляционная модель данных эквивалентны по отношению к композиции операторов ЯМД [5], поскольку оператору языка SQL соответствует эквивалентная композиция процедур ЯМД ОХТ-модели.

Таким образом, отображение ОХТ-модели в реляционную включает преобразование структурных компонентов ОХТ-модели в реляционные таблицы и интерпретацию операторов ЯМД реляционной модели цепочкой процедур ЯМД ОХТ-модели. Показано, что предложенный метод структурного преобразования удовлетворяет критерию эквивалентности.

Список литературы: 1. Креницкий Н. А. О некоторых информационных системах//Цифровая вычислительная техника и программирование. 1967. Вып. 2. С. 114—127. 2. Codd E. F. Extending the Database Relational Model to capture

more meaning//ACM Trans. 1979. 4, № 4. P. 397—434. 3. Калиниченко Л. А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. М., 1983. 424 с. 4. Deen S. M. Principles and Practice of Database System//London. Mac Millan computer science series. 1985. 393 p. 5. Borkin S. A. Model Eguivalence//MIT. Laboratory for Computer Science. 1978. 33 p.

Поступила в редколлегию 15.11.88

УДК 510.62 : 681.51.015

В. В. ШЛЯХОВ, канд. техн. наук,
Ю. В. НАТАЛУХА, канд. техн. наук,
С. Н. ГЕРАСИН, Н. Н. САРНАВСКАЯ

ЛИНЕЙНЫЕ ПРЕДИКАТЫ НА ВЫПУКЛОМ ТЕЛЕ ГИЛЬБЕРТОВЫХ ПРОСТРАНСТВ

При построении различных моделей цветového зрения очень важно адекватно описать множество входных сигналов. В данной статье делается попытка описывать входные сигналы как выпуклое тело V в некотором линейном пространстве со скалярным произведением [1].

Определение. Пусть $0 \leq \lambda \leq 1$ тогда, если любые две точки $x, y \in Y$ и отрезок $[x, y] = \{z | \lambda x + (1-\lambda)y\}$ также принадлежит V , то V — выпуклое тело [2].

Определим на $V \otimes V$ бинарный предикат $\Phi(x, y)$, заданный следующим образом: $\Phi(x, y) = (F(x), F(y))$, где $F(x) = (f_1(x), \dots, f_n(x))$, $\{f_i(x)\}_{i=1}^n$ — линейные линейно независимые функционалы.

Рассмотрим, какими свойствами обладает предикат $\Phi(x, y)$.

1. *Рефлексивность.* $\Phi(y, y) = 1$.
2. *Симметричность.* $\Phi(x, y) = \Phi(y, x)$.
3. *Транзитивность.* Если $\Phi(x, y) = \Phi(y, z) = 1$, то $\Phi(x, z) = 1$.
4. *Выпуклая аддитивность.* Пусть числа $\alpha, \beta > 0$ удовлетворяют условию $\alpha + \beta = 1$ и $\Phi(x, y) = \Phi(x', y') = 1$, тогда $\Phi(\alpha x + \beta x', \alpha y + \beta y') = 1$.

5. *n-мерность.* Выберем в V систему линейно независимых векторов $\{e_1, \dots, e_n, e_{n+1}\}$, тогда для любого $x \in V$ найдутся такое множество индексов $I(x) \subset \{1, 2, \dots, n+1\}$ и числа $\beta_1(x), \beta_2(x), \dots, \beta_{n+1}(x)$, выбираемые единственным образом так, что выполняется условие

$$\Phi(\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x)e_i, \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x)e_i) = 1,$$

причем $\alpha_0(x) = (\sum_{i \in I(x)} \beta_i(x))^{-1} > 0$, $\alpha_i(x) = \alpha_0 \beta_i > 0$, $i \in I(x)$. $\alpha_i = \alpha_0 \beta_i \geq 0$, $i \in I(x)$, $\alpha_0 + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i = 1$, $\sum_{i \in I(x)} \alpha_i = 1$. Обозначим

$\sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i = x_1$, $\sum_{i \in \bar{I}(x)} \alpha_i(x) e_i = x_2$, свойство n -мерности тогда можно записать $\Phi(\sigma_0(x) x + x_1, x_2) = 1$.

6. *Непрерывность.* Функционалы $\{\alpha_i(x)\}_{i=0}^{n+1}$ непрерывны в V .

7. *Выпуклая полуаддитивность.* Если $0 \leq \gamma \leq 1$ и $\Phi(\gamma x + (1-\gamma)t, \gamma y + (1-\gamma)t) = 1$, то $\Phi(x, y) = 1$.

8. *Выпуклая однородность.* Пусть элементы $\{x, y, \lambda x + t, \lambda y + t\} \in V$ и $\Phi(\lambda x + t, \lambda y + t) = 1$, то $\Phi(x, y) = 1$. Все элементы из выпуклого тела будем обозначать и в дальнейшем строчными латинскими буквами, а греческими числа из R^1 . Некоторые из указанных свойств можно усилить. Покажем это.

Лемма 1. Если предикат $\Phi(x, y)$ удовлетворяет свойствам (1-8), то:

а) для $\forall \{x_i, y_i\}_{i=1}^r$ и $\forall \{\alpha_i\}_{i=1}^r \geq 0$, $\sum_{i=1}^r \alpha_i = 1$ выполняется импликация

$$\Phi(x_i, y_i) = 1 \supset \Phi\left(\sum_{i=1}^r \alpha_i x_i, \sum_{i=1}^r \alpha_i y_i\right) = 1;$$

б) для $\forall x, y, \{z_1, \dots, z_r\} \in V$ и $\forall \alpha, \{\gamma_1, \dots, \gamma_r\} \geq 0$, $\alpha + \gamma_1 + \dots + \gamma_r = 1$ верно условие

$$\Phi\left(\alpha x + \sum_{i=1}^r \gamma_i z_i, \alpha y + \sum_{i=1}^r \gamma_i z_i\right) = 1 \supset \Phi(x, y) = 1.$$

Доказательство. Первое утверждение докажем индукцией по Φ . Из свойства выпуклой аддитивности следует его справедливость при $r=2$, т. е. фиксирована база индукции. Пусть теперь условие 1 справедливо для r от 2 до d . Докажем его для $r=d+1$. Для этого рассмотрим

$$\{x_i, y_i\}_{i=1}^{d+1} \in V, \{\alpha_i\}_{i=1}^{d+1} \geq 0, \sum_{i=1}^{d+1} \alpha_i = 1, \Phi(x_i, y_i) = 1, i = 1, \dots, d+1.$$

Введем набор чисел $\gamma_{d+1} = 1 - \alpha_{d+1}$, $\gamma_i = \frac{\alpha_i}{\gamma_{d+1}}$, $i = \overline{1, d}$, без ограничения общности можно считать $\alpha_{d+1} \neq 1$, т. е. $\gamma_{d+1} \neq 0$. Тогда $\gamma_i \geq 0$, $i = 1, \dots, d+1$ и

$$\sum_{i=1}^d \gamma_i = \frac{1}{\gamma_{d+1}} \sum_{i=1}^d \alpha_i = \frac{1}{1 - \alpha_{d+1}} \sum_{i=1}^d \alpha_i = \frac{1 - \alpha_{d+1}}{1 - \alpha_{d+1}} = 1,$$

отсюда по предположению индукции имеем

$$\Phi\left(\sum_{i=1}^d \gamma_i x_i, \sum_{i=1}^d \gamma_i y_i\right) = 1.$$

Обозначим $z_1 = \sum \gamma_i x_i$, $z_2 = \sum \gamma_i y_i$ в этом случае $\Phi(z_1, z_2) = 1$, $\Phi(x_{d+1}, y_{d+1}) = 1$ и из выпуклой аддитивности можно записать $\Phi(\gamma_{d+1} z_1 + (1 - \gamma_{d+1}) x_{d+1}, \gamma_{d+1} z_2 + (1 - \gamma_{d+1}) y_{d+1}) = 1$, но $\gamma_{d+1} z_1 = \gamma_{d+1} \sum \gamma_i x_i = \sum \alpha_i x_i$, $i = 1, \dots, d$, $\gamma_{d+1} z_2 = \gamma_{d+1} \sum \gamma_i y_i = \sum \alpha_i y_i$, $i = 1, \dots, d$. В силу этого $\Phi(\alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_{d+1} x_{d+1}, \alpha_1 y_1 + \dots + \alpha_{d+1} y_{d+1}) = 1$.

Первое утверждение доказано. Перейдем к доказательству второго утверждения леммы. Воспользуемся аналогичными индуктивными рассуждениями, при $r=1$ утверждение (б) совпадает с выпуклой полуаддитивностью. Пусть при $r=t$ утверждение верно, покажем, что оно верно и для $r=t+1$. Рассмотрим

$$\xi_{t+1} = 1 - \gamma_{t+1}, \quad \alpha' = \frac{\alpha}{\xi_{t+1}}, \quad \xi_i = \frac{1}{\xi_{t+1}} \gamma_i, \quad i = 1, 2, \dots, r.$$

Тогда

$$\alpha' + \sum_{i=1}^t \xi_i = 1, \quad \alpha x + \sum_{i=1}^{t+1} \gamma_i z_i = (\alpha' x + \sum_{i=1}^t \xi_i z_i) \xi_{t+1} + (1 - \xi_{t+1}) z_{t+1}.$$

$$\text{Аналогично } \alpha y + \sum_{i=1}^{t+1} \gamma_i z_i = \xi_{t+1} (\alpha' x + \sum_{i=1}^t \xi_i z_i) + (1 - \xi_{t+1}) z_{t+1}.$$

Поскольку выполняется

$$\Phi\left(\alpha x + \sum_{i=1}^{t+1} \gamma_i z_i, \alpha y + \sum_{i=1}^{t+1} \gamma_i z_i\right) = 1,$$

то из предыдущих равенств и выпуклой полуаддитивности получим

$$\Phi\left(\alpha' x + \sum_{i=1}^t \xi_i z_i, \alpha' y + \sum_{i=1}^t \xi_i z_i\right) = 1.$$

Теперь по предположению индукции имеем $\Phi(x, y) = 1$. Доказательство леммы закончено. Выведем еще один вспомогательный результат.

Лемма 2. Пусть для любого $x \in V$ задан оператор Ax следующим соотношением:

$$Ax = \frac{1}{\alpha_0(x)} \left(\sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i - \sum_{i \in J(x)} \alpha_i(x) e_i \right) = \frac{x_2 - x_1}{\alpha_0(x)},$$

где $x_1, x_2, \alpha_1, \dots, \alpha_{n+1}, e_1, \dots, e_{n+1}$ определены в свойстве n -мерности. Тогда для любых $x, y \in V$ и произвольных $\alpha, \beta \geq 0$, причем $\alpha + \beta = 1$, выполняется $A(\alpha x + \beta y) = \alpha Ax + \beta Ay$.

Доказательство. Пусть $\alpha + \beta \geq 1$, $\alpha, \beta \geq 0$, $x, y \in V$, введем в рассмотрение числа

$$\gamma = \frac{\alpha \alpha_0(y)}{\alpha \alpha_0(y) + \beta \alpha_0(x)}, \quad \gamma' = \frac{\beta \alpha_0(x)}{\alpha \alpha_0(y) + \beta \alpha_0(x)},$$

понятно, что $\gamma + \gamma' = 1$. Для произвольных $x, y \in V$ по свойству n -мерности можно записать $\Phi(\alpha_0(x)x + x_1, x_2) = 1$, $\Phi(\alpha_0(y)y + y_1, y_2) = 1$, отсюда согласно выпуклой аддитивности $\Phi(\gamma[\alpha_0(x)x + x_1] + \gamma'[\alpha_0(y)y + y_1], \gamma x_2 + \gamma' y_2) = 1$ или, что то же самое, $\Phi([\gamma\alpha_0(x)x + \gamma'\alpha_0(y)y] + (\gamma x_1 + \gamma' y_1), \gamma x_2 + \gamma' y_2) = 1$.

Обозначим теперь $\gamma x_1 + \gamma' y_1 = \sum_{i=1}^{n+1} \delta_i e_i$, $\gamma x_2 + \gamma' y_2 = \sum_{i=1}^{n+1} \delta'_i e_i$,

$$\alpha_0(x)\gamma x + \alpha_0(y)\gamma' y = \frac{\alpha_0(x)\alpha_0(y)}{\alpha\alpha_0(y) + \beta\alpha_0(x)} [\alpha x + \beta y] = \theta [\alpha x + \beta y].$$

Введем теперь множество индексов $N = \{i/\delta_i > \delta'_i\}$ и обозначим

$$u = \sum_{i \in N} (\delta_i - \delta'_i) e_i, \quad v = \sum_{i \in N} (\delta'_i - \delta_i) e_i, \quad \gamma x_1 + \gamma' y_1 = \sum_{i \in N} \delta'_i e_i +$$

$$+ \sum_{i \in N} \delta_i e_i + u = z + u, \quad \gamma x_2 + \gamma' y_2 = \sum_{i \in N} \delta'_i e_i + \sum_{i \in N} \delta_i e_i + v = z + v.$$

Отсюда $v - u = \gamma(x_2 - x_1) + \gamma'(y_2 - y_1) = \gamma\alpha_0(x)Ax + \gamma'\alpha_0(y)Ay = \theta[\alpha Ax + \beta Ay]$.

Значит,
$$\alpha Ax + \beta Ay = \frac{v - u}{\theta}.$$

Теперь, используя новые обозначения, преобразуем следующее равенство:

$$\Phi([\gamma\alpha_0(x)x + \gamma'\alpha_0(y)y] + (\gamma x_1 + \gamma' y_1), \gamma x_2 + \gamma' y_2) = 1,$$

$$\Phi([\gamma\alpha_0(x)x + \gamma'\alpha_0(y)y] + u + z, v + z) = 1, \quad \Phi(\theta[\alpha x + \beta y] + u + z, v + z) = 1. \quad (1)$$

Пусть теперь $\mu = \sum_{i \in N} (\delta_i - \delta'_i)$, $\xi = \sum_{i \in N} (\delta'_i - \delta_i)$,

$$\Phi\left(\mu \frac{\theta[\alpha x + \beta y] + u}{\mu} + z, \xi \frac{v}{\xi} + z\right) = 1.$$

Заметим, что сумма коэффициентов при $x, y, \{e_i\}_{i=1}^{n+1}$ в равенстве (1) равна единице, т. е.

$$\gamma\alpha_0(x) + \gamma'\alpha_0(y) + \sum_{i \in I(x)} \gamma\alpha_i(x) + \sum_{i \in I(y)} \gamma'\alpha_i(y) = 1,$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} \delta_i = \sum_{i \in I(x)} \gamma\alpha_i(x) + \sum_{i \in I(y)} \gamma'\alpha_i(y).$$

С другой стороны, из равенства (1) так же следует

$$\sum_{i=1}^{n+1} \delta'_i = \sum_{i \in I(x)} \gamma\alpha_i(x) + \sum_{i \in I(y)} \gamma'\alpha_i(y) = 1.$$

Из последних трех равенств получим

$$\begin{aligned} \gamma_{\alpha_0}(x) + \gamma'_{\alpha_0}(y) + \sum_{i=1}^{n+1} \delta_i &= \sum_{i=1}^{n+1} \delta'_i = 1, \quad \theta + \sum_{i \in N} \delta_i + \sum_{i \in N} \delta'_i = \\ &= \sum_{i \in N} \delta'_i + \sum_{i \in N} \delta_i = 1, \quad \theta + \sum_{i \in N} (\delta_i - \delta'_i) = \sum_{i \in N} (\delta'_i - \delta_i), \quad \theta + \mu = \xi, \\ \frac{\theta [\alpha x + \beta y]}{\xi} + \frac{\mu}{\xi} &= \frac{(\xi - \mu)(\alpha x + \beta y)}{\xi} + \frac{\mu}{\xi} \frac{\mu}{\mu}. \end{aligned}$$

Заметим, что $\alpha x + \beta y \in V$, $\frac{\mu}{\xi} \in V$, поскольку сумма коэффициентов при элементе равна

$$\sum_{i \in N} \frac{\delta_i - \delta'_i}{\sum_{i \in N} (\delta_i - \delta'_i)} = 1,$$

следовательно, $\frac{\theta}{\xi}(\alpha x + \beta y) + \frac{\mu}{\xi} \in V$.

Итак, на основании свойства однородности из

$$\Phi \left(\xi \frac{\theta [\alpha x + \beta y] + \mu}{\xi} + z, \xi \frac{v}{\xi} + z \right) = 1.$$

следует $\Phi \left(\frac{\theta}{\xi}(\alpha x + \beta y) + \mu, \frac{v}{\xi} \right) = 1$.

Данное равенство совпадает со свойством n -мерности, поэтому

$$A(\alpha x + \beta y) = \frac{v - \mu}{\theta}.$$

Сравнивая последнюю формулу с ранее полученным соотношением, выводим

$$A(\alpha x + \beta y) = \alpha A x + \beta A y.$$

Лемма доказана.

Теперь можно перейти к доказательству основного факта.

Теорема. Для того чтобы предикат $\Phi(x, y)$, заданный на декартовом квадрате выпуклого тела $V \times V$, был предикатом n -мерной линейности, необходимо и достаточно, чтобы он удовлетворял свойствам (1—8).

Доказательство. Необходимость. Пусть предикат $\Phi(x, y)$ есть предикат n -мерной линейности, в силу этого предположения он представим в виде

$$\Phi(x, y) = D((f_1(x), \dots, f_n(x)), f_1(y), \dots, f_n(y)), \quad (2)$$

где $f_1(x), \dots, f_n(x)$ — линейные функционалы на V . Докажем выполнение свойства n -мерности, все остальные свойства доказываются несложной проверкой.

Пусть $\{e_1, \dots, e_{n+1}\} \in V$ — линейно независимые векторы. Рассмотрим систему относительно неизвестных $\beta_1(x), \dots, \beta_{n+1}(x)$:

$$\begin{cases} f_j(x) = \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i(x) f_j(e_i), & j=1, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i(x) = 1. \end{cases}$$

Матрица системы имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ f_1(e_1) & f_1(e_2) & \dots & f_1(e_{n+1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n(e_1) & f_n(e_2) & \dots & f_n(e_{n+1}) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Если доказать, что определитель матрицы A не равен нулю, то система (3) разрешима единственным образом и числа $\beta_1(x), \dots, \beta_{n+1}(x)$ непрерывно зависят от x . Эквивалентными преобразованиями определитель $|A|$ можно привести к виду

$$|A| = \begin{vmatrix} f_1(e_2 - e_1) & \dots & f_1(e_{n+1} - e_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_n(e_2 - e_1) & \dots & f_n(e_{n+1} - e_1) \end{vmatrix}.$$

Докажем теперь, что система векторов $\{e_i - e_1\}_{i=2}^{n+1}$ линейно независима, если линейно независима система $\{e_i\}_{i=1}^{n+1}$. Действительно, пусть векторы $\{e_i - e_1\}_{i=2}^{n+1}$ линейно зависимы, тогда верно следующее равенство:

$$\sum_{i=2}^{n+1} \lambda_i (e_i - e_1) = 0,$$

при некоторых $\lambda_1, \dots, \lambda_{n+1}$, отличных от нуля. Отсюда, раскрыв скобки, получим

$$\sum_{i=1}^{n+1} \lambda_i e_i - \left(\sum_{i=2}^{n+1} \lambda_i \right) e_1 = 0.$$

Данное равенство противоречит предположению о линейной независимости векторов e_1, \dots, e_{n+1} . Следовательно, можно считать, что матрица A есть матрица перехода от одной линейно независимой системы векторов ранга $n+1$ к другой линейно независимой системе того же ранга. Поэтому определитель $|A|$ отличен от нуля.

Нам осталось показать, что свойство n -мерности можно записать в том виде, который был описан в начале статьи. Положим $I(x) = \{i \mid \beta_i(x) < 0\}$, множество $I(x)$ может оказаться и пустым. Каждый вектор $x \in L(e_1, \dots, e_{n+1})$ можно записать в виде $x = \beta_1(x) e_1 + \beta_2(x) e_2 + \dots + \beta_{n+1}(x) e_{n+1}$, где $\sum_{i=1}^{n+1} \beta_i(x) = 1$.

Положим

$$\alpha_0(x) = \left(\sum_{i \in I(x)} \beta_i(x) \right)^{-1}, \quad \alpha_i(x) = \alpha_0(x) \beta_i(x) > 0, \quad i \in I(x),$$

$$\alpha_i(x) = -\alpha_0(x) \beta_i(x) \geq 0, \quad i \in I(x).$$

Рассмотрим элементы

$$\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \quad \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i.$$

Подсчитаем теперь сумму коэффициентов у каждого элемента

$$\alpha_0(x) + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) = \alpha_0(x) \left(1 - \sum_{i \in I(x)} \beta_i(x) \right) = 1,$$

$$\sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) = \alpha_0(x) \sum_{i \in I(x)} \beta_i(x) = 1.$$

Отсюда следует, что элементы лежат в выпуклом теле

$$\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \in V, \quad \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \in V$$

и выполняется равенство

$$\Phi \left(\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \right) = 1.$$

Как уже отмечалось, в силу непрерывности линейных функционалов $f_1(x), f_2(x), \dots, f_{n+1}(x)$ непрерывны как функции на $\beta_1(x), \beta_2(x), \dots, \beta_{n+1}(x)$, так и $\alpha_0(x), \alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_{n+1}(x)$.

Тем самым полностью доказано свойство n -мерности предиката $\Phi(x, y)$.

Достаточность. Пусть предикат $\Phi(x, y)$ удовлетворяет свойствам (1—8). Сначала покажем, что $\Phi(x, y) = 1$ тогда и только тогда, когда $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$ и $I(x) = I(y)$. Согласно условию рефлексивности $\Phi(e_i, e_i) = 1, i = 1, n+1$, тогда из леммы I следует равенство

$$\Phi \left(\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \alpha_0(x)y + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \right) = 1.$$

С другой стороны, на основе n -мерности можно записать

$$\Phi \left(\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \right) = 1,$$

из симметричности и транзитивности следует

$$\Phi \left(\alpha_0(x)x + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i, \alpha_0(x)y + \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i \right) = 1.$$

В силу однозначности $\{\alpha_i(x)\}_{i=0}^{n+1}$ и $I(x)$ можно утверждать что $\alpha_i(x) = \alpha_i(y), i = 0, \dots, n+1$ и $I(x) = I(y)$. Эти же рассуждения можно провести и в обратном порядке, причем на по

следнем шаге следует воспользоваться полуаддитивностью предиката $\Phi(x, y)$. Поскольку $\alpha_0(x) = \alpha_0(y)$ и

$$\begin{aligned} x_1 &= \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i = \sum_{i \in I(y)} \alpha_i(y) e_i = y_1, & x_2 &= \sum_{i \in I(x)} \alpha_i(x) e_i = \\ & & &= \sum_{i \in I(y)} \alpha_i(y) e_i = y_2, \end{aligned}$$

то верно равенство

$$\frac{x_2 - x_1}{\alpha_0(x)} = \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i(x) e_i = \frac{y_2 - y_1}{\alpha_0(y)} = \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i(y) e_i.$$

Из этого равенства выводим $\beta_i(x) = \beta_i(y)$, $i = 1, \dots, n+1$.

Из этих соображений и леммы 2 следует $\beta_i(\alpha x + \gamma y) = \alpha \beta_i(x) + \gamma \beta_i(y)$, $i = 1, \dots, n+1$, здесь $\alpha + \gamma = 1$, $\alpha, \gamma \geq 0$. В обратную сторону, пусть $\beta_i(x) = \beta_i(y)$, $i = 1, \dots, n+1$, из этого равенства необходимо получить, что $\Phi(x, y) = 1$. Действительно, если

$$\begin{aligned} \frac{x_2 - x_1}{\alpha_0(x)} &= \frac{y_2 - y_1}{\alpha_0(y)}, & \text{или} \\ (x_2 - x_1) \left(\sum_{i \in I(x)} \beta_i(x) \right) &= (y_2 - y_1) \left(\sum_{i \in I(y)} \beta_i(y) \right), \end{aligned}$$

что означает равенство $x_2 - x_1 = y_2 - y_1$ или $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$ при $i = 1, 2, \dots, n+1$.

Кроме того, покажем, что все $\{\beta_i(x)\}_{i=1}^{n+1}$ представимы в виде $\beta_i(x) = g_i(x) + \beta_i(0)$, $i = 1, 2, \dots, n+1$, здесь $\{g_i(x)\}_{i=1}^{n+1}$ — линейные функционалы. Проверим это утверждение $g_i(\lambda x) = \beta_i(\lambda x) - \beta_i(0) = \beta_i(\lambda x + (1-\lambda)0) - \beta_i(0) = \lambda \beta_i(x) + (1-\lambda)\beta_i(0) - \beta_i(0) = \lambda(\beta_i(x) - \beta_i(0)) = \lambda g_i(x)$. Однородность выполняется, проверим аддитивность;

$$\begin{aligned} g_i(x+y) &= g_i\left(2 \frac{x+y}{2}\right) = 2g_i\left(\frac{x+y}{2}\right) = 2\left(\beta_i\left(\frac{x+y}{2}\right) - \beta_i(0)\right) = 2\left(\left(\frac{\beta_i(x) + \beta_i(y)}{2}\right) - \beta_i(0)\right) = (\beta_i(x) - \beta_i(0)) + \\ &+ (\beta_i(y) - \beta_i(0)) = g_i(x) + g_i(y). \end{aligned}$$

Из непрерывности функционалов $\beta_i(x)$ следует непрерывность $g_i(x)$, что и определяет вместе с аддитивностью и однородностью линейность функционалов $g_i(x)$. Следовательно, предикат $\Phi(x, y) = 1$ тогда и только тогда, когда $g_i(x) = g_i(y)$, $i = 1, 2, \dots, n+1$.

Нам осталось показать, что число функционалов можно сократить до n . В самом деле, по предположению $\beta_1(x) + \beta_2(x) + \dots + \beta_{n+1}(x)$ в силу этого замечания $\beta_{n+1}(x) = 1 - \beta_1(x) - \dots - \beta_n(x)$. Таким образом, всякий функционал $\beta_i(x)$ можно выразить через n -остальных. Теперь зададимся вопросом, можно ли уменьшить и это число?

Не умаляя общности, предположим, что функционал $\beta_1(x)$ — «лишний», тогда запишем свойства рефлексивности и n -мерности для вектора e_1 , $\Phi(e_1, e_1) = 1$:

$$\Phi(\alpha_0(e_1)e_1 + \sum_{i \in I(e_1)} \alpha_i(e_1)e_i, \sum_{i \in I(e_1)} \alpha_i(e_1)e_i) = 1.$$

Сравнивая эти два равенства, замечаем, что $\alpha_0(e_1) = 1$, $I(e_1) = \emptyset$, $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = \dots = \alpha_{n+1} = 0$. Это означает, что $\beta_1 = 1$, $\beta_i = 0$, $i = 2, n+1$. Так как мы считаем функционал $\beta_1(x)$ лишним, значит, для обеспечения равенства какой-либо из функционалов $\beta_2(e_1), \dots, \beta_{n+1}(e_1)$ является не нулевым, что противоречит полученным результатам. Теорема полностью доказана.

Рассмотрим теперь общий вид функционалов при конкретном выборе множества входных сигналов. Из теоремы Рисса об общем виде линейного функционала в пространствах со скалярным произведением следует, что линейный оператор представим

$$F: L \rightarrow R^n, Fx = ((x, a_1), \dots, (x, a_n)).$$

Здесь под $\{a_i\}_{i=1}^n$ понимается ядро линейного функционала, причем a_i — элемент из того же пространства. В евклидовых пространствах конечной размерности типа R^n скалярное произведение можно определить как билинейную форму:

$$(x, a) = \sum_{i=1}^n x_i a_i.$$

В гильбертовом пространстве $L_2[a, b]$ общий вид функционала таков:

$$f(x) = \int_a^b x(\tau) a(\tau) d\tau.$$

Общий вид известен не только в рефлексивных пространствах. Например, в банаховом пространстве непрерывных функций $C[a, b]$ функционал представим интегралом Стильтьеса [3]

$$f(x) = \int_a^b x(\tau) dG(\tau),$$

где $G(\tau)$ — функция ограниченной вариации. Все функционалы описанного типа могут быть идентифицированы на основании выполнения условий теоремы.

Список литературы: 1. Глазман И. М., Любич Ю. Н. Конечномерный линейный анализ. М., 1969. 475 с. 2. Садовничий В. А. Теория операторов. М., 1986. 386 с. 3. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М., 1972. 496 с.

Поступила в редколлегию 26.12.88

Г. Г. ЧЕТВЕРИКОВ, канд. техн. наук, А. Д. ИВАНОВА,
Н. Ю. КАРПЕНКО, В. А. ИВАНОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАЛОГА В МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В настоящее время особое значение приобретают проблемы рационального использования ограниченных ресурсов. Поэтому в составе современных АСУП разработаны и функционируют многочисленные системы управления производством, направленные на решение задач планирования с целью максимального использования производственных мощностей предприятия. Большинство этих систем формально принимают плановые решения, построенные с учетом специфики конкретного производства. Несмотря на многочисленные преимущества, область применения формальных процедур ограничена ввиду наличия множества трудноформализуемых факторов, влияющих на ход производственного процесса. Поэтому целесообразно создать диалоговую систему, базирующуюся на иерархическом семействе моделей [1] и принципе агрегированного управления. Цель организации диалога — привлечение работников различных уровней управленческого аппарата к решению трудноформализуемых задач, использование их опыта, способности к неформальному мышлению в сочетании с преимуществами современных ЭВМ.

Функционирует множество диалоговых систем, ориентированных на решение задач планирования [2, 3]. Однако одной из важных является проблема организации диалога в условиях многоуровневой системы управления производством.

Рассмотрим вопросы организации диалогового режима для управления многоуровневой системой принятия решений. Объект управления (производственная система) характеризуется совокупностью трех атрибутов: процессов P , ресурсов R , времени T . Он представлен иерархической системой управления, функционирование которой запишем четверкой $\langle F, R, P, T \rangle$, где F — критерий оптимальности функционирования системы; R, P, T — соответственно системы ресурсов, процессов и времени.

Система R на нижнем уровне представлена множеством различных элементарных ресурсов $R_0 = \{r_0\}$ нескладированного типа с определенной на нем структурой $S(R)$. Эта структура определяет правила формирования иерархических подмножеств из элементов на этапе агрегирования. В общем случае $S(R)$ — иерархическая сеть. Пусть индекс v определяет номер уровня в структуре $S(R)$, $i(R(v))$ — функция, ставящая в соответствие ресурсам v -го уровня ресурсы $(v+1)$ -го уровня. Тогда в случае древовидной структуры системы R справедливо

$$R_v = \bigcup_{r_{v+1}} R_v^{r_{v+1}}, \text{ где } R_v^{r_{v+1}} = \{r_v \mid i(r_v) = r_{v+1}\}.$$

Пусть для всех $r_0 \in R_0$ известна объемная характеристика $b(r_0)$, отражающая мощность системы R по ресурсу r_0 . На практике в качестве $b(r_0)$ может выступать годовой фонд времени ресурса r_0 с учетом коэффициента сменности и процента выполнения норм. Тогда правило агрегирования системы R для произвольного уровня $\mu > \nu$ имеет вид

$$b_{r_\mu} = \sum_{r_{\mu-1} \in R_{\mu-1}^{r_\mu}} \sum_{r_{\mu-2} \in R_{\mu-2}^{r_{\mu-1}}} \dots \sum_{r_\nu \in R_\nu^{r_{\nu+1}}} b_{r_\nu}. \quad (1)$$

Система P нижнего уровня образована множеством элементарных процессов (ЭП) $P_0 = \{P_0\}$, каждый из которых для своего выполнения требует элементарный ресурс заданного типа $i(p) = r_\mu$ в течение фиксированного интервала времени. Структура $S(p)$ определяется отношением частичного порядка на множестве ЭП и задается в виде сетевого комплекса $G = \langle P, Q \rangle$. Выделение системы иерархических подмножеств для различных уровней системы P связано с декомпозицией сети G и последующим агрегированием полученных фрагментов. Пусть известны множества $P_0, P_1, \dots, P_N, p_0 = \{p_0\}$ и соответствующие разбиения $p_\nu^{p_0}, \nu = 1, 2, \dots, N_p$. Определим множество $p_0^{p_1}(r_\mu) = \{p_0\}, (p_0) = r_\mu, p_0 \in P_0^{p_1}, i(p_0) \in R_\mu = \{r_\mu\}$, а $p_0^{p_1} = \bigcup_{r_\mu \in R_\mu} p_0^{p_1}(r_\mu)$.

Агрегирование системы P_0 до уровня $\nu = 1$ представим в виде

$$a_{p_1 r_\mu} = \sum_{p_0 \in P_0^{p_1}(r_\mu)} a_{p_0}, r_\mu \in R_\mu.$$

В случае многошагового агрегирования системы P при повышении уровней агрегирования по процессам от ν до μ , а по ресурсам от ν' до μ' получим

$$a_{p_\mu r_\mu} = \sum_{r_{\nu'} \in R_{\nu'}^{r_\mu}} \sum_{P_\nu \in P_\nu^{r_\mu}} a_{p_\nu r_{\nu'}}, r_\mu \in R_\mu, r_{\nu'} \in R_{\nu'}. \quad (2)$$

Система T образована множеством элементарных моментов (отрезков) времени $T_0 = \{t_0\}$ с установленным на нем отношением полного порядка $S(T)$. Иерархическая система подмножеств определяется уровнями квантования.

Взаимодействие атрибутов RPT на нижнем уровне агрегирования формально представляется бинарной функцией трех аргументов $\pi_0(r_0, P_0, t_0)$, равной единице, если процесс P_0 потребляет ресурс r_0 в момент t_0 , и нулю — в противном случае. Управление системой RPT заключается в реализации π_0 , удовлетворяющей $S(R), S(P), S(T)$ и доставляющей экстремум критерию F . Ввиду большой мощности множеств R_0, P_0, T_0 непосредственное построение π_0 на практике невозможно. Поэтому управление системой типа RPT строят по иерархическому принципу, что подразумевает агрегирование всех атрибутов в соответствии с правилами

ми выделения иерархических подмножеств типа (1), (2). В результате многошагового агрегирования по известной функции π_0 можно построить иерархическое семейство моделей функционирования системы RPT :

$$\pi_v(r_v, p_v, t_v) = \sum_{r_\mu \in R_{v-1}} \sum_{p_\mu \in P_{v-1}} \sum_{t_\mu \in T_{v-1}} (r_{v-1}^\mu, p_{v-1}^\mu, t_{v-1}^\mu). \quad (3)$$

Каждому значению v соответствует фиксированный номер уровня агрегирования атрибутов системы RPT . Соответствующая ломаная в пространстве $R \times P \times T$ с координатными осями, содержащими значения v , определяет структуру системы управления.

Описанное семейство моделей положено в основу принципа агрегированного управления, который состоит в следующем.

1. Декомпозиция системы P с целью выделения сетевого комплекса (агрегатов).

2. Формирование агрегированных моделей для выделенных агрегатов.

3. Решение агрегированной задачи распределения ресурсов.

4. Деагрегирование фрагмента объемно-календарного плана до заданного уровня агрегирования.

Потребление ресурсов агрегированным процессом, согласно [1], представим в виде

$$x_p(t) = u_p(t), \quad (4)$$

$$\pi_{rp}^t = \omega_{rp}^0 g_{rp}(x_p(t)) u_p(t), \quad (5)$$

где $x_p(t) \in [0, 1]$ — состояние процесса; $\dot{x}_p(t) = dx_p(t)/dt$ — скорость процесса; $u_p(t)$ — управление (интенсивность); π_{rp} — потребность процесса p в ресурсе r в момент t ; ω_{rp} — нормативный объем процесса p по r -му ресурсу; g_{rp} — функция расхода ресурсов. Матрица значений $\pi = \|\pi_{rp}^t\|$ является моделью функционирования системы RPT на базовом уровне v^0 . Формирование моделей уровня $\mu > v^0$ сводится к преобразованию π_{v^0} в соответствии с (3) и с учетом $S(R)$, $S(P)$, $S(T)$. Формирование детализированных решений π_v , $v < v^0$ является результатом процедуры деагрегирования. Она может быть представлена в виде отображения $D: \pi_\mu \rightarrow \Omega_{\mu-1} = (\pi_\mu) = \{\pi_{\mu-1}\}$ при известных $g_{r_{p_\mu}}(x_{p_\mu})$ и векторе $u_{p_\mu}(t)$, которое ставит в соответствие некоторому сечению матрицы π_μ множество планов $(\mu-1)$ -го уровня. Поскольку π_μ однозначно определено функциями $g(x)$ и $u(t)$, справедливо $D: (g_{r_{p_\mu-1}}, u_{p_\mu}) \rightarrow \pi^{p_{\mu-1}}$. Используя модели типа (3), (4), последнее отображение можно представить в виде

$$\pi^{p_{\mu-1}}(r, t_0) = W_{r p_{\mu-1}} g_{r p_{\mu-1}}[x_{p_\mu}(t_0)] u_{p_\mu}(t_0), \quad (6)$$

где $x_{p_\mu}(t_0) = \Delta \sum_{\tau=1}^{(t-1)} u_{p_\mu}^\tau + u_{p_\mu}^t(t_0 - (t-1) \cdot \tau)$; $t_0 \in [(t-1)\Delta, t\Delta]$.

Таким образом, процедура дезагрегирования заключается в выборе по некоторым правилам подмножества процессов $D'_{\mu-1}$ при заданных $g(x)$ и $u(t)$ с учетом характера использования ресурсов π_r^t , которые должны быть выполнены в кванте t .

Рассмотренные модели функционирования производственной системы положены в основу диалоговой системы планирования индивидуального и мелкосерийного производства ДИАЛОГ — RPT [3]. Основной функцией этой системы является формирование по запросам лица, принимающего решения (ЛПР), модели μ -го уровня агрегирования для указанного подмножества элементов $R_\mu \times P_\mu \times T_\mu$ и ее локальная оптимизация по выбранной системе ограничений, формируемой в процессе диалога [4].

Рассмотрим примеры возможных запросов ЛПР различных уровней иерархии, поступающие на вход системы и направленные на анализ имеющегося плана.

1) Определить трудоемкость годовой производственной программы.

2) Какие заказы и в каком количестве создают загрузку токарного оборудования 4-го участка 8-го цеха во II квартале 1989 года?

3) Когда по плану должны быть изготовлена партия деталей 116500 заказа 2141?

Анализ приведенных запросов позволяет сделать следующие выводы. Во всех запросах присутствуют три атрибута производственной системы: процессы P , ресурсы R и время T . В зависимости от значений этих атрибутов запросы можно классифицировать по типу «что», «где», «когда». Перечисленные запросы могут быть объединены в единую форму (назовем ее основной).

Абстрагируясь от языковых особенностей, представим основной запрос в виде

(тип запроса):<код области> $\mu^{вх}(\beta)\mu^{вых}$.

Здесь <тип запроса> — указывает на основной запрос; <код области> — на область R , P или T ; $\mu^{вх}$ — уровень входного агрегирования; $\mu^{вых}$ — уровень выходного агрегирования; β — область запроса.

Для обработки основного запроса в системе ДИАЛОГ — RPT используются две процедуры: агрегирование и дезагрегирование. Первая предназначена для агрегирования базовой модели $\pi_{\nu^{\delta}}$ и используется при обработке запросов, в которых $\nu > \nu^{\delta}$, где ν^{δ} — уровень агрегирования базовой модели. Вторая процедура используется в том случае, если $\mu^{вых} < \nu^{\delta}$.

Обобщенный алгоритм обработки запроса состоит в следующем. В диалоге с ЛПР формируются атрибуты $\mu^{вх}$, β , $\mu^{вых}$. На основании параметров $\mu^{вх}$, β выделяется подмножество элементов пространства $\Omega = R_{\nu^{\delta}} \times P_{\nu^{\delta}} \times T_{\nu^{\delta}}$. Если $\mu^{вых} > \nu^{\delta}$, то из базовой модели выделяется соответствующий Ω фрагмент, который впоследствии агрегируется согласно (3) до уровня $\mu^{вх}$. Если $\mu^{вых} < \nu^{\delta}$, то выполняется процедура дезагрегирования [4].

Процесс взаимодействия системы ДИАЛОГ — RPT с ЛПР организован по фиксированному сценарию с преимущественной инициативой ЭВМ [3]. Такая организация диалога не требует от ЛПР специальных знаний и снижает вероятность внесения непреднамеренных ошибок. Структура диалога представлена в виде дерева, каждой вершине которого соответствует последовательность жестко сформированных кадров. Диалоговый монитор системы функционирует как конечный автомат и в процессе работы обходит вершины этого дерева в соответствии с заданным алгоритмом. При попадании в каждую вершину на экран терминала выводится запрос на получение параметров $\mu^{вх}$, β или $\mu^{вых}$. После ввода одного параметра запроса система переходит к следующему кадру. По окончании формирования всех атрибутов запроса последний автоматически передается на обработку.

Программное обеспечение системы ДИАЛОГ — RPT реализовано по модульному принципу с максимальным привлечением средств языков программирования высокого уровня, что соответствует современной технологии программирования. Это обеспечивает гибкость и легкую адаптацию отдельных компонент системы при реализации в условиях различных операционных систем.

Система ДИАЛОГ — RPT внедрена в промышленную эксплуатацию на ряде предприятий народного хозяйства.

Список литературы: 1. Максимов Ю. Б., Котлик С. В., Пидлисний А. В., Кузьменко Г. В. Система оптимального объемно-календарного планирования мелкосерийного производства. Х., 1987. 74 с. Деп. в УкрНИИНТИ 14.04.87 № 1235 Ук-87 Деп. 2. Брябрин В. М. Диалоговые системы в АСУ/Под ред. Поспелова А. А. М., 1983. 208 с. 3. Карпенко Н. Ю., Иванов В. А. Реализация диалоговой системы планирования ДИАЛОГ—RPT. Х., 1989. 42 с. Деп. в УкрНИИНТИ 03.01.89 № 135 Ук-89 Деп. 4. Карпенко Н. Ю., Котлик С. В. Оптимизация объемно-календарных планов мелкосерийных производств в диалоговом режиме. Х., 1988. 32 с. Деп. в УкрНИИНТИ 04.07.89 № 132 — Ук-89.

Поступила в редколлегию 15.04.89

УДК (681.513.5:517.977.5):62-51

А. Е. РАДИЕВСКИЙ, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ КОМПЕНСАТОРНОГО СЛЕЖЕНИЯ

В настоящее время невозможно создать единую и достаточно простую математическую модель деятельности человека-оператора (Ч-О) из-за недостаточной изученности механизма его деятельности [1]. Поэтому математическая модель деятельности Ч-О справедлива для определенного класса систем управления и конкретных условий ее функционирования.

Рассмотрим процедуру синтеза математической модели деятельности Ч-О в классе технических (эргатических) систем управле-

ния (ЭСУ) [2]. В [2, 3] показано, что для выполнения функционального единства ЭСУ деятельность Ч-0 должна быть охарактеризована четверкой $\langle R(p), Q(p), \lambda, \tau \rangle$, где $R(p)$ — оператор, характеризующий сложность для Ч-0 входного сигнала; $Q(p)$ — оператор, (квазиоператор функциональных преобразований [3]), характеризующий сложность операций, производимых Ч-0 над входным сигналом; λ — точность выполнения операций, характеризуемых оператором $Q(p)$; τ — время, в течение которого названные выше элементы четверки остаются неизменными. Оператор $Q(p)$ непосредственно зависит от психофизиологических характеристик Ч-0, а его конкретизация обуславливается условиями функционирования исследуемой СУ. При этом необходимо, чтобы анализ оператора $Q(p)$ позволил ответить на вопрос — какими знаниями, умениями и навыками должен обладать Ч-0, чтобы его деятельность в исследуемой СУ была оптимальной (субоптимальной) в смысле требуемого критерия качества.

Примем, что движение объекта управления (ОУ) описывается системой дифференциальных уравнений (СДУ)

$$\dot{x} = Ax + bu, \quad (1)$$

где $x = (x_1, \dots, x_n)$ — матрица-столбец n -мерного вектора фазовых координат; A и b — матрицы с постоянными коэффициентами размерностью $n \times n$ и $n \times 1$ соответственно, причем собственные числа $\lambda_i, i \in [1, n]$ матрицы A попарно различные; u — управляющее воздействие, удовлетворяющее ограничению

$$|u| \leq u_{\max}, \quad (2)$$

u_{\max} — заданное число.

Действие возмущающего воздействия приводит к нарушению расчетного режима функционирования СУ. Появляется отклонение $x(0)$ вектора фазовых координат x от вектора задающих воздействий $x^{\text{зад}}$. Для фазовой координаты x существует допустимое множество отклонений

$$x(0)_{\min} \leq x(0) \leq x(0)_{\max}, \quad (3)$$

где $x(0)_{\min}$ — минимально различимое Ч-0 значение величины отклонения; $x(0)_{\max}$ — максимально допустимое отклонение по условиям функционирования СУ. Задачей Ч-0 является формирование и реализация посредством системы исполнения команд (СИК) (ключ управления, исполнительный механизм (ИМ) с заданной статической характеристикой (нелинейное звено с характеристикой типа «насыщение»), указатель положения ИМ) управляющего воздействия $u(t)$ с целью отработки возникшего рассогласования $x(0)$ и при условии, что переходной процесс удовлетворяет требуемым показателям.

Одним из подходов к конкретизации оператора $Q(p)$ является использование гипотезы оптимальности: Ч-0, обладающий требуемым профессиональным уровнем в рамках имеющегося информационного обеспечения и психофизиологических возможностей,

функционирует оптимально или субоптимально. Тогда конкретизация оператора $Q(p)$ для исследуемого класса СУ может быть реализована как решение следующей задачи — необходимо определить алгоритм управления (АУ), доставляющий экстремум функционалу

$$J = \int_0^T (x^T R x + m u^2) dt \quad (4)$$

при дифференциальных связях (1), ограничении (2) и граничных условиях $x(0) = x_0$, $x(T) = 0$. Здесь R — диагональная матрица порядка n ; m — число; T — конечный не фиксированный момент времени; t — символ операции транспонирования. АУ получим в виде [4]

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max} & \text{при } L(t) \geq u_{\max} \\ L(t) & \text{при } -u_{\max} < L(t) < u_{\max}, \\ -u_{\max} & \text{при } L(t) \leq -u_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{где } L(t) &= \frac{1}{m} b^T \Gamma^{-1T} \Lambda^{-1} (I - \exp(\Lambda t)) \Gamma^T R x(0) = \\ &= \frac{1}{m} b^T \Gamma^{-1T} \Lambda^{-1} \Gamma^T R x(0) - \frac{1}{m} b^T \Gamma^{-1T} \exp(\Lambda t) R x(0) = \\ &= \bar{V} + \bar{W}(t); \end{aligned}$$

$\Lambda = \text{diag} \|\lambda_1, \dots, \lambda_n\|$; Γ и I — матрицы Вандермонда и единичная соответственно порядка $n \times n$

Введя обозначения размерностей

$$\begin{aligned} [u] &= [P_1]; [x_1] = [P_2], \dots, [x_n] = [P_2/T^{n-1}]; \\ [b_{11}] &= [P_2/P_1 T], \dots, [b_{n1}] = [P_2/P_1 T^n]; \\ [k] &= [k_{oy}] [k_{им}] = [P_2/P_1] [P_1/P_3] = [P_2/P_3] \end{aligned}$$

для средней строчки выражения (5), получим

$$\left[\frac{r_i}{m} \right] = [P_1 T^{2(i-1)} / P_2]^2$$

или

$$\begin{aligned} [r_i] &= [P_1 T^{2(i-1)} / P_2], [m] = [P_2 / P_1] = [P_2 / P_3] [P_3 / P_1] = \\ &= [k] / [k_{им}] = [m_1] / [m_2], i \in [1, n]. \end{aligned}$$

Здесь k_{oy} , $k_{им}$ — коэффициенты усиления ОУ и ИМ соответственно. Тогда $[m_2] = [k_{им}]$; $[r_i] = [r_i] / [m_1] = [T^{2(i-1)}] / [k_{oy}] [k]$, $i \in [1, n]$. Принимая во внимание приведенный в [5] качественный анализ и физическую интерпретацию весовых коэффициентов оптимизируемого функционала (4), параметры r_i , $i \in [1, n]$ можно

интерпретировать как управляющие параметры Ч-0 по соответствующим фазовым координатам.

Для открытой области запишем

$$\dot{x} = Ax + b(V + W(t))x(0), \quad (6)$$

где $V = b^T \Gamma^{-1T} \Lambda^{-1} R$; $W(t) = -b^T \Gamma^{-1T} \Lambda^{-1} \exp(\Lambda t) \Gamma^T R$. Применяв преобразование Лапласа к СДУ (6), получим

$$\begin{aligned} X(p) &= \frac{px(0)}{pI - A} + \frac{b}{pI - A} \left(\frac{1}{p} Vx(0) + W(p)x(0) \right) = \\ &= X_1(p)x(0) + X_2(p)(X_3(p)X_4(p)x(0) + X_5(p)x(0)). \end{aligned}$$

Проведя необходимые структурные преобразования [5], получим математическую модель деятельности Ч-0 в исследуемой СУ (см. рисунок):

$$\begin{aligned} X_6(p) &= p^2 b^{-1} + pW(p) + V = p^2 b_{11}^{-1} + pV_{11} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p^i c_j^i}{\sum_{i=0}^n p^i a_i} + \bar{V}_{11} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{2n} p^i \gamma_i}{\sum_{i=0}^n p^i a_i} = \frac{a_0}{\gamma_0} \cdot \frac{\sum_{i=0}^n p^i f_i}{\sum_{i=0}^n p^i \rho_i} \sum_{i=n+1}^{2n} p^i f_i = X_6^1(p) X_6^2(p) X_6^3(p), \quad (7) \end{aligned}$$

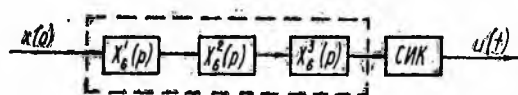
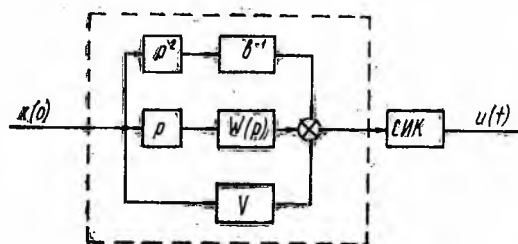
где $\bar{V}_{11} = \sum_{\rho=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{1}{\Delta} \frac{\lambda_j^{\rho-1}}{\lambda_j} b_{11} \Gamma_{ij} r_{\rho}$, $\Delta = \det \Gamma$; $\gamma_j = \gamma_j(a_{ij}, b_{11}, r_{\rho})$;

$a_i = a_i(a_{ij})$; $A = \|a_{ij}\|_1^2$; $b = \|b_{11}\|_1^2$; Γ_{ij} — алгебраические допол-

нения соответствующих элементов матрицы Γ . Видно, что в процессе функционирования Ч-0 оперирует как с величиной $x(0)$, так и с его скоростью и ускорением.

В выражении (7) передаточные функции $X_6^i(p)$, $i \in [1, 3]$ отражают: $X_6^1(p)$ — коэффициент усиления; $X_6^2(p)$ — время запаздывания, присущее двигательной системе Ч-0, включающее время, необходимое для формирования и реализации управляющего воздействия;

$X_6^3(p)$ — упреждающие свойства деятельности Ч-0.



Математическая модель

Таким образом, Ч-0 должен: знать статические и динамические свойства постоянной части СУ; уметь правильно считывать и осмысливать информацию и на этой основе формировать и реализовывать управляющее воздействие; контролировать текущее время и предвидеть ход технологического процесса; обладать моторными навыками деятельности.

Список литературы: 1. *Моделирование систем полуавтоматического управления космических кораблей*/Под ред. А. И. Яковлева. М., 1986. 280 с. 2. *Технические эргатические системы*/Под ред. В. В. Павлова. К., 1977. 344 с. 3. *Павлов В. В. Начала теории эргатических систем*. К., 1975. 239 с. 4. *Радиевский А. Е. Алгоритмическое решение задачи аналитического конструирования оптимальных регуляторов при ограниченном управляющем воздействии. I//Адаптивные системы автоматического управления*. 1983. Вып. 11. С. 64—69. 5. *Радиевский А. Е. Теоретико-экспериментальный метод и задача ручного управления. III//Кибернетика и вычислительная техника*. 1984. Вып. 61. С. 37—41.

Поступила в редколлегию 18.10.88

УДК 578.1

А. А. ЯРОШЕНКО, канд. биол. наук,
Л. М. КОНОВАЛОВА, канд. техн. наук, *Ф. А. КРАСИНА*

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СТРУКТУРНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

Возможности разработанного метода структурно-временного анализа деятельности оператора в динамических системах управления оценивались на примере решения человеком-оператором задачи компенсаторного слежения при варьировании параметров индикации.

Оператору предлагалось отслеживать сигнал нерегулярной формы, являющийся аддитивной смесью гармонических сигналов пяти частот с различными углами сдвига фаз. В экспериментах использовалось визуальное представление информации о сигнале рассогласования $\epsilon(t)$. При проведении экспериментов варьировалось число уровней индикации. Кроме того, изменялось положение уровней индикации на шкале ошибок слежения, т. е. варьировался шаг исследуемой шкалы. Величина зоны нечувствительности во всех экспериментах составляла 5 % от максимальной амплитуды отслеживаемого сигнала, выход сигнала рассогласования за границы нечувствительности отражался на индикаторе. Визуальный индикатор представлял собой 17 светодиодов, размещенных линейно в вертикальной плоскости на расстоянии 1,3 см друг от друга. Отличающийся по цвету центральный светодиод сигнализировал о нахождении сигнала $\epsilon(t)$ в границах зоны нечувствительности.

Эксперименты проводились при следующих условиях. Длительность эксперимента составляла 204,8 с. Обработывался последний участок слежения длительностью 102,4 с. Оператору

Характеристика точности управления

Таблица 1

№ эксперимента	Количество индикаторов	Уровни индикации, %	Характеристики точности		
			\bar{M}	σ_M	σ
1	1	5	3,06	1,17	26,9
2	2	5; 7,5	1,7	1,0	22,1
3	2	5; 10	0,4	0,7	16,1
4	2	5; 15	0,84	0,55	12,7
5	2	5; 20	0,39	0,71	16,4
6	2	5; 30	-0,32	0,82	18,9
7	3	5; 12; 19	0,57	0,64	14,7
—	8	5; 8; 11; 14; 17; 20; 23; 27	-0,17	0,57	13,1

Примечание. 1. \bar{M} , σ_M и σ — соответственно среднее значение, среднеквадратическая ошибка среднего и среднеквадратическая ошибка сигнала рассогласования. 2. Все величины приведены в процентах от максимальной амплитуды отслеживаемого сигнала.

предлагалось с помощью нецентрированной ручки управления поддерживать сигнал рассогласования в пределах заданной зоны нечувствительности.

Инерционность объекта управления отсутствовала. При проведении экспериментов и обработке результатов использовался информационно-измерительный комплекс. Электроника-60 — КАМАК.

В табл. 1 приведены характеристики точности управления. На рис. 1 представлены характерные эмпирические законы распределения сигнала $\epsilon(t)$, построенные на основе измерения относительного времени нахождения сигнала $\epsilon(t)$ в интервалах с заданными границами. Из анализа полученных данных следует, что точность слежения значимо (критерий Колмогорова-Смирнова) изменяется как при введении дополнительных индикаторов, так и при оптимизации шкалы для двух уровней индикации. При этом точность слежения для выбранных условий эксперимента (оптимальный вариант шкалы) и в случае использования

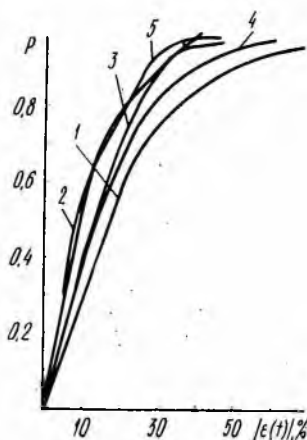


Рис. 1. Эмпирические функции распределения вероятности модуля сигнала $\epsilon(t)$. Ось абсцисс — величина сигнала в процентах от максимальной амплитуды отслеживаемого сигнала; ось ординат — оценка вероятности

сравнима в случае использования (оптимальный вариант шкалы) восьми уровней индикации.

Кроме того, из анализа полученных законов распределения для двухуровневой индикации следует, что при наилучшем качестве слежения все индикаторы работают приблизительно одинаковое относительное время. Нарушение этого условия (неравномерная загрузка индикаторов) приводит к ухудшению точности управления.

Для объяснения установленных фактов обратимся к результатам структурно-временного анализа деятельности оператора при управлении. Анализ эмпирических временных вероятностей исходных десяти типов событий (1-й уровень анализа) [1] для каждой из выбранных при обработке результатов зон изменения сигнала $\varepsilon(t)$, ограниченных с двух сторон соседними уровнями квантования сигнала $\varepsilon(t)$, при нормировании на среднее значение $\varepsilon(t)$ для данной зоны позволяет представить полученную абсолютную ошибку слежения как аддитивную смесь ошибок слежения, накопленных в каждой зоне для каждого из десяти типов исходных событий. Анализ результатов такого опосаба обработки для исходных десяти типов событий (С1...С10) показал, что отмеченное при варьировании параметров индикации возрастание точности не может быть связано с какой-либо определенной группой событий. Если рассмотреть в каждой зоне суммарную ошибку слежения, обус-

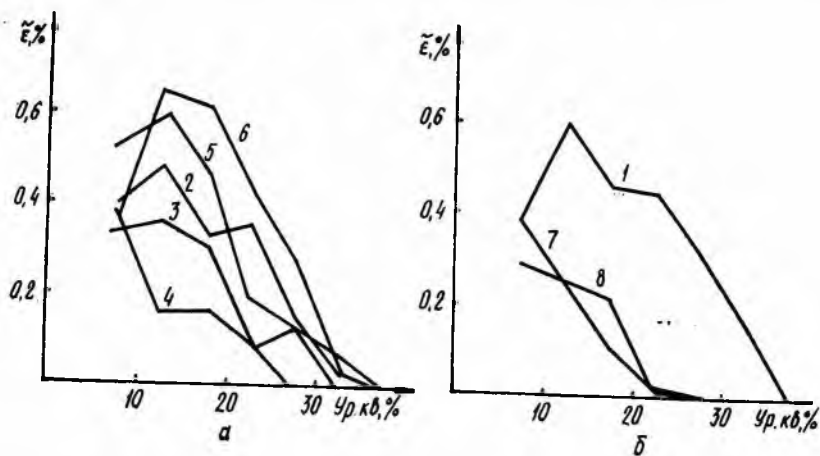


Рис. 2. Изменения ошибки слежения, полученной за счет событий С7-С10, по зонам изменения сигнала $\varepsilon(t)$. По осям абсцисс — уровни квантования сигнала $\varepsilon(t)$, в процентах от максимальной амплитуды отслеживаемого сигнала. По

осям ординат — величины накопленной ошибки слежения ε в пределах заданных зон изменения сигнала $\varepsilon(t)$, в процентах от максимальной амплитуды отслеживаемого сигнала: а — двухуровневая индикация; б — одно- и многоуровневая индикация. Цифры у кривых — номера экспериментов в соответствии с табл. 1

Рис. 3. Результаты структурно-временного анализа деятельности оператора. Цифры у схематического обозначения событий — эмпирическая вероятность событий в процентах (отдельно стоящие цифры — результаты эксперимента № 4, дробь: числитель — результаты эксперимента № 3, знаменатель — результаты эксперимента № 5)

ловленную группой событий, характеризующихся действиями оператора, не соответствующими заданной установке (события С7-С10) (рис. 2), то можно видеть, что при увеличении точности слежения за счет оптимизации шкалы изменяется форма кривых. Так, в случае неоптимального выбора уровней квантования в некоторых зонах суммарная ошибка оказывается больше, чем в соседних (кривые 1, 2, 5, 6, рис. 2), при оптимизации предъявления максимум сглаживается (кривая 3, рис. 2) и полностью исчезает (кривые 4, 7, 8, рис. 2). Наличие максимума на этих кривых свидетельствует об аномальной вероятности реакций, не соответствующих установке, и может быть связано как с отсутствием необходимого в данной зоне уровня индикации, так и с игнорированием информации, поступающей с индикатора, соответствующего рассматриваемой зоне изменения сигнала $\epsilon(t)$. Отсюда следует, что анализ этих графиков позволяет получить непосредственные рекомендации по улучшению качества дискретной индикации.

Чтобы ответить на вопрос, за счет каких характерных особенностей поведения оператора достигается то или иное качество управления, обратимся к результатам последовательного анализа исходных событий С1-С10 (уровни анализа 2—5) [1], представленным в табл. 2—4. На рис. 3 в качестве примера приведены результаты анализа текущих событий для экспериментов № 3—5 (табл. 1—4). Из представленных данных можно видеть, что введение дополнительных уровней индикации и оптимизация шкалы для двухуровневой индикации приводят к закономерному изменению временных вероятностей всех реакций человека-оператора для уровней анализа 4—5 и некоторых характерных реакций для уровней анализа 2, 3. Так, при увеличении точности слежения возрастает вероятность событий, характеризующихся использованием оператором информации о знаке и скорости изменения сигнала

Таблица 2

Эмпирическая вероятность и среднее время событий 3-го уровня

Параметр	№ эксперимента	События									
		$R_{\text{ош}}^-$	$R_{\text{ош}}^+$	$R_{\text{з}}^-$	$R_{\text{з}}^+$	$R_{\text{в}}^-$	$R_{\text{в}}^+$	$R_{\text{п}}^-$	$R_{\text{п}}^+$	$R_{\text{пз}}^-$	$R_{\text{пз}}^+$
P, %	1	14,3	1,6	4,7	54,5	6,9	5,0	0	0,6	1,4	11,1
	2	14,6	2,0	4,8	43,0	7,0	7,0	0	0	11,1	10,3
	3	13,2	1,8	4,5	38,9	9,1	7,2	0	0,4	12,4	12,4
	4	9,4	2,4	5,2	34,2	10,6	8,8	0	0	16,9	12,5
	5	15,9	4,7	3,4	39,0	9,8	7,0	0	0,2	10,5	9,5
	6	16,6	3,9	2,6	46,1	5,4	6,4	0	0,6	9,8	8,7
	7	9,5	1,5	5,5	40,7	11,2	7,2	0	0,8	11,2	12,5
	8	7,1	0	6,4	40,7	11,8	8,3	0	0	8,2	17,4
T, мс	1	270	228	228	1070	542	463	0	325	200	227
	2	315	166	192	790	500	496	0	0	200	186
	3	336	300	200	692	440	387	0	400	300	274
	4	259	343	243	538	432	373	0	0	332	223
	5	301	343	175	570	416	298	0	250	182	161
	6	385	443	176	872	370	433	0	325	188	158
	7	290	259	229	733	434	315	0	425	250	237
	8	281	0	298	785	605	425	0	0	220	371

Таблица 3

Эмпирическая вероятность и среднее время событий 4-го уровня

№ экспери- мента	Параметр							
	P, %				T, мс			
	События							
	$R_{ош}$	R_k	R_V	$R_{п}$	$R_{ош}$	R_k	R_V	$R_{п}$
1	15,8	59,2	11,9	13,1	289	1024	1105	268
2	16,6	47,8	14,1	21,5	323	698	995	380
3	15,0	43,4	16,4	25,2	354	658	976	512
4	11,8	39,5	19,3	29,4	292	545	898	518
5	20,6	42,4	16,8	20,2	383	570	1070	334
6	20,4	48,7	11,8	19,1	426	802	860	354
7	11	46,1	18,4	24,5	300	705	805	475
8	7,1	47,1	20,1	25,6	281	805	1145	640

Таблица 4

Эмпирическая вероятность и среднее время событий 5-го уровня

№ экспери- мента	Параметр			
	P, %		T, мс	
	События			
	$\Sigma R_{зн}$	$\Sigma R_{зн \cdot V}$	$\Sigma R_{зн}$	$\Sigma R_{зн \cdot V}$
1	75,0	25,0	1277	433
2	64,5	38,5	954	526
3	58,4	41,6	941	670
4	51,2	48,8	716	882
5	63,0	37,0	880	510
6	69,1	30,9	1070	485
7	57,1	42,9	875	645
8	54,3	45,7	652	625

рассогласования $\varepsilon(t)$ ($\Sigma R_{зн, в}$) и соответственно уменьшается вероятность событий, характеризующихся использованием оператором информации только о знаке сигнала $\varepsilon(t)$ ($\Sigma R_{зн}$) (табл. 4, рис. 3). Это обусловлено изменениями средних длительностей рассмотренных событий (табл. 4). Из результатов 4-го уровня анализа следует, что при введении второго уровня индикации и оптимизации шкалы для двухуровневой индикации (табл. 3, рис. 3) сохраняются закономерные изменения вероятностей событий этого уровня, а именно, уменьшаются вероятности событий $R_{ош}$ и R_k (ошибочные и компенсирующие реакции) и возрастают вероятности событий R_V и $R_{п}$ (реакции с корректировкой скорости движения рукоятки и реакции с использованием прогноза). В случае многоуровневой индикации (эксперимент № 8, табл. 1), для ко-

торой качество слежения такое же, как и для оптимальной двухуровневой индикации, изменяется характер управления, что приводит к существенному уменьшению вероятности событий $R_{ош}$ за счет сокращения их количества (табл. 3) и соответствующему возрастанию вероятности событий R_k , связанному с увеличением

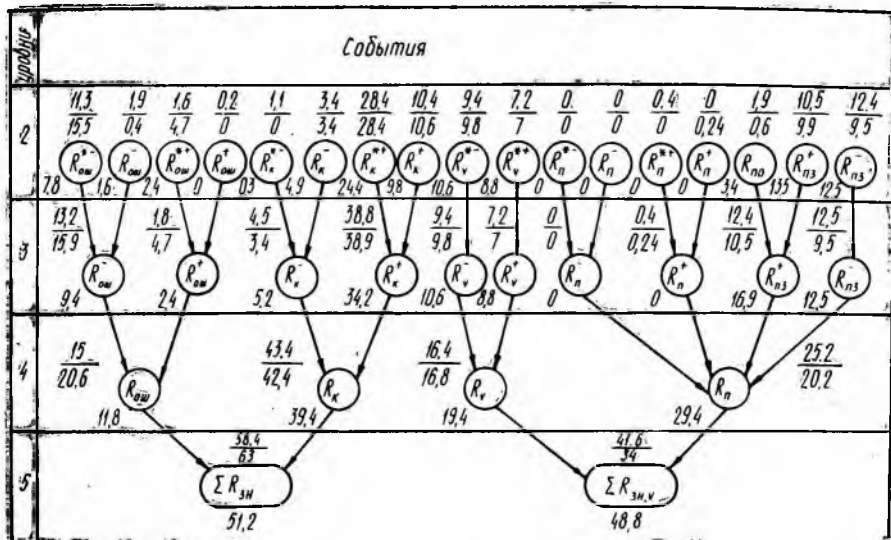


Рис. 3. Результаты структурно-временного анализа деятельности оператора. Цифры у схематического обозначения событий — эмпирическая вероятность событий в процентах (отдельно стоящие цифры — результаты эксперимента № 4, дробь: числитель — результаты эксперимента № 3, знаменатель — результаты эксперимента № 5)

их средней длительности, а также к увеличению средней длительности интервалов слежения, характеризующихся корректировкой скорости движения органа управления (события R_v , табл. 3).

Последовательно проанализируем особенности формирования событий $R_{ош}$, R_k , R_v и R_p (4-й уровень). Из результатов остальных уровней анализа следует, что ситуация $R_{ош}$, обусловленная ошибочными реакциями оператора, приводящими к увеличению $R_{ош}^-$ и уменьшению ($R_{ош}^+$) сигнала рассогласования, определяется в основном ошибочными реакциями типа ($R_{ош}^-$) (3-й уровень), которые имеют инерционный характер ($R_{ош}^{*+}$). Ошибочные реакции, связанные с нарушением установки на компенсацию ($R_{ош}^-$, 2-й уровень), практически отсутствуют для анализируемой серии экспериментов, что свидетельствует о безошибочном восприятии передаваемой информации. Незначительная вероятность событий ($R_{ош}^+$) полностью обусловлена ситуациями неопределенности, возникающими за счет изменения знака производной отслеживаемого сигнала на фоне сохраняющегося направления движения органа управления.

События R_k , обусловленные реакциями на компенсацию, приводящими к увеличению (R_k^-) и уменьшению (R_k^+) сигнала рассогласования, определяются в основном событиями R_k^+ (3-й уровень), в формирование которых основной вклад вносят реакции на компенсацию без изменения направления движения органа управления R_k^{*+} (2-й уровень). События R_k^- (3-й уровень) возник-

ают за счет реакций R_k^- (2-й уровень), которые обусловлены меньшей скоростью изменения сигнала с органа управления по сравнению с отслеживаемым сигналом в начальный момент формирования правильной компенсирующей реакции.

События R_v в равной степени обусловлены событиями R_v^- и R_v^+ характеризующимися соответственно отставанием и опережением по скорости изменения сигнала с органа управления относительно отслеживаемого сигнала. События R_p обусловлены в основном реакциями прогноза в пределах зоны нечувствительности, где реакции точного ($R_{пз}^+$) и неточного $R_{пз}^-$ прогноза практически равновероятны во всех экспериментах, кроме эксперимента с одноуровневой индикацией, для которого характерно резкое уменьшение точного прогноза в зоны нечувствительности. Это объясняется тем, что при одноуровневой индикации оператору поступает информация только о знаке сигнала рассогласования, которой недостаточно при отслеживании псевдослучайного сигнала для формирования точного прогноза в пределах зоны нечувствительности.

Рассмотренный метод структурно-временного анализа позволяет представить работу оператора по управлению объектом в виде последовательности характерных реакций человека-оператора, количественный анализ которых дает возможность оценить их вклад в конечный результат решения оператором задачи управления и получить новую информацию о причинах изменения точности управления при варьировании параметров индикации, органа управления и отслеживаемого сигнала. В комплексе с другими методами анализа деятельности оператора рассмотренный метод структурно-временного анализа деятельности может быть рекомендован при исследовании систем отображения информации, органов управления в задачах управления динамическими объектами, а также при подготовке и профотборе операторов.

Поступила в редколлегию 09.11.88

В. В. СЕМЕНЕЦ, канд. техн. наук, Г. Г. ФОМИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАССИРОВКИ СОЕДИНЕНИЙ В КАНАЛЕ

Проектирование современных микроэлектронных устройств (МЭУ) — сложная и трудоемкая задача для человека-конструктора. Системы автоматизации проектирования (САПР) позволяют сократить сроки создания аппаратуры и облегчить труд конструктора. Для улучшения результатов проектирования МЭУ необходимо, чтобы системы моделировали как можно более точно работу эксперта-конструктора. В статье рассмотрено моделирование трассировки соединений конструктором в однослойном четырехстороннем канале.

Из всех алгоритмов трассировки наиболее широко применяются в САПР МЭУ две группы алгоритмов: модификации волнового алгоритма и алгоритмы на основе канального подхода.

Для узлов с дискретными элементами эффективные результаты можно получить путем использования модификаций волнового алгоритма. Достоинством указанных алгоритмов является то, что они всегда находят путь (если он существует) между двумя точками. Но для сложных, загруженных схем особенно остро проявляются недостатки данной группы алгоритмов: большой расход оперативной памяти, возрастание затрат машинного времени, последовательный характер проведения соединений, что приводит на определенном этапе к невозможности трассировки оставшихся соединений из-за «блокировки» отдельных выводов элементов.

Для преодоления указанных недостатков применяют гибкую трассировку или трассировку по макродискретам. Трассировка проводится волновым алгоритмом по макродискретам, которые представляют собой связанные области правильной конфигурации. При этом указывается лишь пропускная способность ребер каждого макродискрета и контролируется только количество трасс, пересекающих ребра макродискрета [1].

При расположении элементов в узлах регулярной структуры целесообразно применять канальные алгоритмы. Канальная трассировка обычно разбивается на два этапа [2]: предварительная трассировка с целью распределения соединений по каналам с учетом равномерной загрузки последних; окончательная трассировка в каналах, в процессе которой уточняется положение соединений между контактами, расположенных на линейках канала.

Как отмечалось в [3], такой подход предполагает решение нескольких задач меньшей размерности, поэтому кажется весьма перспективным.

При проектировании конструкций с одним слоем коммутации наибольшее распространение получил топологический подход, ко-

торый учитывает основное ограничение в виде требования плоской реализации соединений.

В работах [4, 5] рассматривается общая задача трассировки однослойного канала с двухсторонней линейной последовательностью контактов. Предлагается методика для нахождения множества соединений, которое можно разместить в заданном числе магистралей. В работе [5] было отмечено, что задача нахождения наибольшего множества соединений в однослойном канале с двухсторонней линейной последовательностью контактов и ограниченным числом магистралей не нашла своего оптимального решения.

В данной статье предложено решение задачи трассировки в однослойном четырехстороннем канале и описан алгоритм трассировки данного канала.

Предлагается, что рассматриваемая в канале схема — планарная. Модель канала введем по аналогии с [3]. Зафиксируем прямоугольную декартову систему координат Oxy . Рассмотрим прямоугольник, ограниченный прямыми $x=0$, $x=n$, $y=0$, $y=l+1$, где n , l — фиксированные числа (рис. 1).

Определим граф, который будем называть каналом L шириной l и длиной n (или просто каналом). В качестве вершин этого графа возьмем все точки вида (x, y) с целочисленными координатами, лежащие в указанном прямоугольнике, т. е. удовлетворяющие условиям $x \in \{0, 1, \dots, n\}$; $y \in \{0, 1, 2, \dots, l+1\}$. Далее будем для простоты рассматривать горизонтальный канал. Для вертикального канала изменится только определение прямоугольной области.

Ребра графа могут проходить по линиям ортогональной сетки или под углом 45° к любой линии сетки.

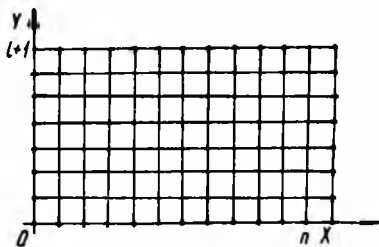


Рис. 1.

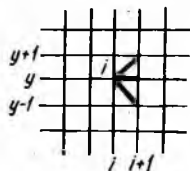


Рис. 2.

Множество контактов электрической схемы X отображается в множество вершин $\{(x, 0), (x, l+1) | x=1, \dots, n-1\} \cap \{(0, y), (n, y) | y=1, \dots, l\}$ канала. Другими словами, множество контактов электрической схемы может располагаться на всех четырех границах канала, т. е. образуется четырехсторонний канал. Цели, выходящие на боковые стороны канала, могут соединяться с кон-

тактами разъема или цепями, принадлежащими перпендикулярно расположенным другим каналам.

Трассы могут проходить через вертикаль канала только один раз и проводиться в пределах канала, не включая его границ. Будем считать, что на сторонах канала контактные площадки одной цепи в соседних узлах сетки располагаться не могут.

Все цепи разобьем на двухконтактные фрагменты (далее просто фрагменты) последовательным просмотром канала слева направо. Наша цель заключается в определении условий, которые гарантируют 100 %-ую трассировку всех цепей схемы в канале.

Введем понятие кратности схемы в канале. Для рассматриваемого в данной статье типа трасс (трассы могут прокладываться под углом 45° в любом месте канала, в том числе и от его границ) кратность схемы определяется следующим образом.

Пусть $x_0 \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$. Выделим в этом множестве два подмножества: $x'_0 \in \{1, 2, \dots, n-1\}$; $x''_0 \in \{0, n\}$. Кратностью схемы X в точке x'_0 называется число $K'(x'_0)$, равное числу фрагментов, у которых существуют контакты (x_1, y_1) и (x_2, y_2) такие, что $x_1 < x_0 < x_2$. Кратностью схемы X в точке x''_0 называется число $K''(x''_0)$, равное числу фрагментов, которые имеют контакты на вертикале x''_0 канала. Кратностью схемы X называется число

$$K = \max \{ (K'(x'_0)) | x'_0 \in \{1, 2, \dots, n-1\}, (K''(x''_0)) | x''_0 \in \{0, n\} \}.$$

Теорема. Пусть схема X размещена без пересечений в четырехстороннем однослойном канале L шириной l (l — число магистралей, разрешенных для трассировки). K — кратность схемы. Задача трассировки в канале разрешима, если $l \geq K$.

Доказательство. Будем просматривать каналы слева направо путем последовательной обработки каждой вертикали. На каждой вертикали трассы могут располагаться в двух зонах — верхней и нижней. Если контактная площадка (КП) цепи находится на верхней или боковых сторонах, то на всех остальных вертикалях эта трасса будет располагаться в верхней зоне, а если КП цепи находится на нижней стороне канала, то на всех остальных вертикалях данная трасса будет находиться в нижней зоне. Цепи, контакты которых расположены на боковых сторонах канала, относятся к цепям верхней зоны. Каждая зона должна заполняться плотно, чтобы между цепями не оставались незаполненные магистрали.

Если j -цепь находится на i -й вертикали и на y -й магистрали, то ее координаты будем обозначать следующим образом: x'_i, y'_i . По сути $x = i$.

При переходе от i -й вертикали к $(i+1)$ -й должны выполняться следующие правила:

1) если на i -й вертикали на верхней стороне канала появилась первая КП фрагмента j -й цепи, то на $(i+1)$ -й вертикали эта

цепь будет иметь координату $(x_i^j + 1, l_j^i)$. Для остальных цепей верхней зоны на $(i+1)$ -й вертикали координаты будут $(x_i^j + 1, y_i^j - 1)$, $j = \overline{1, N_v}$, где N_v — количество цепей в верхней зоне;

2) если на i -й вертикали на верхней стороне канала нет КП, то на $(i+1)$ -й вертикали координаты цепей верхней зоны станут равными $(x_i^j + 1, y_i^j)$, $j = \overline{1, N_v}$;

3) если на i -й вертикали на верхней стороне канала находится вторая КП фрагмента j -й цепи, то на $(i+1)$ -й вертикали все цепи верхней зоны будут иметь координаты $(x_i^j + 1, y_i^j + 1)$, $j = \overline{1, N_v}$;

4) если на i -й вертикали на нижней стороне канала появилась первая КП фрагмента j -й цепи, то на $(i+1)$ -й вертикали эта цепь будет иметь координаты $(x_i^j + 1, 1)$. Для остальных цепей нижней зоны на $(i+1)$ -й вертикали координаты будут $(x_i^j + 1, y_i^j + 1)$, $j = \overline{1, N_n}$, где N_n — количество цепей в нижней зоне;

5) если на i -й вертикали на нижней стороне канала нет КП, то на $(i+1)$ -й вертикали координаты цепей нижней зоны станут равными $(x_i^j + 1, y_i^j)$, $j = \overline{1, N_n}$;

6) если на i -й вертикали на нижней стороне канала находится вторая КП фрагмента j -й цепи, то на $(i+1)$ -й вертикали все цепи нижней зоны будут иметь координаты $(x_i^j + 1, y_i^j - 1)$, $j = \overline{1, N_n}$.

Если на вертикали возникает какая-либо комбинация контактов, то следует применять суперпозицию соответствующих правил. Например, если на i -й вертикали на верхней стороне находится первая КП фрагмента, а на нижней КП отсутствует, то следует применять 1 и 5 правила. Очевидно, что при любых комбинациях контактов на сторонах канала все описанные правила могут быть выполнены при соблюдении условия $l \geq k$. Следовательно, теорема доказана.

Доказанная теорема имеет значение не только для канальных алгоритмов. Как уже отмечалось, при гибкой трассировке в существующих алгоритмах контролируется лишь количество трасс, пересекающих ребра макродискрета. Если в качестве макродискрета выбрать прямоугольник — канал, то зная количественную оценку схемы в канале (в соответствии с доказанной теоремой), можно точно определить число цепей, которые могут пересекать ребра макродискрета — стороны канала, чтобы схема могла быть реализована в канале без пересечений.

Рассмотрим алгоритм трассировки четырехстороннего однослойного канала. Пусть S — множество всех фрагментов. Выделим из множества S подмножество фрагментов S' , которые имеют КП на правой боковой границе канала.

Отличительной чертой алгоритма является применение принципа параллельности. Это значит, что трассировка всех соедине-

ний проводится одновременно, последовательной обработкой всех вертикалей канала. Последовательный алгоритм трассировки для двухстороннего однослойного канала описан в [5]. Недостатком такого алгоритма является многоэтапность; разбиение всех соединений на классы; ранжирование соединений в пределах класса; трассировка выбранного соединения.

Применение параллельного алгоритма позволяет сократить используемый объем оперативной памяти и затраты машинного времени.

Пусть j -й фрагмент расположен на i -й вертикали в узле с координатами (x_i^j, y_i^j) . Проведение j -го фрагмента до $(i+1)$ -й вертикали возможно к трем узлам с координатами: $(x_i^j + 1, y_i^j + 1)$; $(x_i^j + 1, y_i^j)$; $(x_i^j + 1, y_i^j - 1)$ (рис. 2).

Для каждого фрагмента определяется приоритетное направление проведения трасс. Приоритет определяется положением ключевого контакта фрагмента. Ключевым контактом называется вторая (правая) КП для фрагментов подмножества $\bar{S} = S, S'$ и первая (левая) КП для фрагментов подмножества S' .

Если ключевой контакт расположен на верхней (нижней) границе канала, то приоритетное направление проведения трассы верхнее (нижнее). Это значит, что при проведении j -го фрагмента с верхним приоритетом слева направо сперва анализируется узел с координатами $x_i^j + 1, y_i^j + 1$. Если он свободен (через него не проходят другие фрагменты), то трасса прокладывается к данному узлу. В противном случае анализируется узел с координатами $x_i^j + 1, y_i^j$ и т. д. Аналогично для фрагментов с нижним приоритетом. Следует заметить, что один из трех указанных узлов обязательно будет свободен — это гарантируется теоремой.

На вертикали можно выделить две зоны, в общем случае не плотно заполненные, в которых фрагменты имеют одинаковый приоритет. В верхней и нижней зонах просмотр фрагментов будем проводить последовательно от верхней и нижней границ канала соответственно.

Приведем алгоритм обработки одной магистрали.

Алгоритм 1. Анализ i -й вертикали.

1. Просмотр фрагментов нижней зоны. Если фрагмент не принадлежит Q , то переход к п. 3, иначе — к п. 2.
2. Проведение трассы до $(i+1)$ -й вертикали.
3. Анализ следующего фрагмента нижней зоны. Если следующего фрагмента в зоне нет, то переход к п. 4, иначе — к п. 2.
4. Просмотр фрагментов верхней зоны. Если фрагмент не принадлежит Q , то переход к п. 6, иначе — к п. 5.
5. Проведение трассы до $(i+1)$ -й вертикали.
6. Анализ следующего фрагмента верхней зоны. Если следующего фрагмента в зоне нет, то переход к п. 7, иначе — к п. 4.
7. Конец.

С учетом указанного запишем алгоритм трассировки канала. Алгоритм трассировки состоит из двух этапов: на первом этапе трассируются фрагменты подмножества S , на втором — фрагменты подмножества S' .

Алгоритм 2. Трассировка четырехстороннего однослойного канала.

1. Просмотр канала слева направо — трассировка цепей подмножества S .

1.1. Анализ i -й вертикали в соответствии с Алгоритмом 1, $Q=S$.

1.2. Переход к $(i+1)$ -й вертикали. Если i -я вертикаль последняя, то переход к п. 2, иначе — к п. 1.1.

2. Просмотр канала справа налево — трассировка цепей подмножества S' .

1.3. Анализ i -й вертикали в соответствии с Алгоритмом 1, $Q=S'$.

1.4. Переход к $(i+1)$ -й вертикали. Если i -я вертикаль последняя, то переход к п. 3, иначе — к п. 1.3.

3. Конец.

На рис. 3 показан вид канала, протрассированного в соответствии с Алгоритмом 2. Недостатком такой трассировки является



Рис. 3. Протрассированный канал

наличие лишних изломов на трассах, которые могут быть устранены простой процедурой перетрассировки.

Список литературы: 1. Петренко А. И., Тетельбаум А. Я. Формальное конструирование ЭВА. М., 1979. 256 с. 2. Селотин В. А. Машинное конструирование электронных устройств. М., 1977. 383 с. 3. Яковлев Н. Н., Асанов М. О., Баранский В. А. Развитие канального подхода в конструировании микроэлектронной аппаратуры. Свердловск, 1987. 127 с. 4. Маркосян С. Е., Газарян Г. А. О некоторых задачах линейной трассировки//Вопр. радиоэлектроники, сер. ЭВТ. 1974. Вып. 9. С. 16—21. 5. Газарян Г. А. О задаче трассировки линейного канала//Вопр. радиоэлектроники, сер. ЭВТ. 1979. Вып. 9. С. 57—62.

Поступила в редакцию 20.03.89

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Промышленное производство и внедрение в широких масштабах программных изделий, составляющих программное обеспечение (ПО) современных автоматизированных систем обработки информации и управления, сталкивается с противоречивыми задачами [1]: высокими требованиями к качеству и надежности функционирования ПО — со стороны пользователей (заказчиков систем) и отсутствием общепринятых методов и средств обеспечения заданных значений этих важнейших характеристик систем — со стороны разработчиков. Указанное обстоятельство усугубляется практическим отсутствием научно-обоснованных показателей надежности функционирования ПО и методов их количественной оценки. Большинство фундаментальных работ и прикладных исследований проблемы надежности посвящено структурным и информационным методам повышения надежности систем. Научные концепции, положенные в основу методологии надежностного анализа и синтеза, ориентируются на аппаратное обеспечение, практически не затрагивая область ПО.

Однако усложнение алгоритмов функционирования автоматизированных систем значительно повышает объем и усложняет ПО [2]. Увеличение объема (до 10^5 и более машинных команд) и сложности ПО, в свою очередь, делает невозможной разработку полностью бездефектных (свободных от ошибок) составляющих ПО программ, в результате чего последние сдаются в эксплуатацию с ошибками проектирования, являющимися причинами отказов систем, вызванных ПО. Процесс отладки ПО по выявлению и устранению ошибок в программах представлен графиком изменения интенсивности отказов ПО (рис 1.). В графике выделено три характерных участка. Участок I соответствует этапам отладки (автономной, комплексной и функциональной), испытаниям и опытной эксплуатации ПО [3]. На протяжении этого времени устраняется («выжигается») основное количество ошибок проектирования, что соответствует резкому уменьшению интенсивности отказов ПО. Процесс «выжигания» ошибок ПО аналогичен процессу «приработки» аппаратуры, когда выявляется основное количество отказов, вызванных различными производственными недостатками.

К началу второго участка, после окончания «выжигания» доступных ошибок, интенсивность отказов ПО имеет наименьшее (для участка I), но не нулевое значение, которое, в общем случае, зависит от мощности используемых отладочных методов, средств, квалификации программистов и времени отладки. На эта-

пе эксплуатации (участок II) остаточные после проектирования ошибки ПО, соответствующие достаточно редкому сочетанию входных данных и маршрутов исполнения программ, проявляются как маловероятные события. В связи с этим интенсивность отказов ПО на этом участке уменьшается незначительно — по мере устранения трудно-обнаруживаемых ошибок проектирования программ.

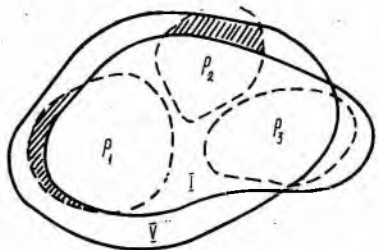
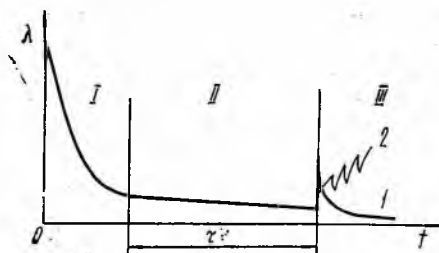


Рис. 1. Характер изменения интенсивности отказов ПО
Рис. 2. Соотношение программных пространств

Относительная стабильность проявления программных ошибок на этапе эксплуатации объясняется тем фактом, что постоянно используется порядка 20 % маршрутов программ [4], в то время как основная часть программ — редко исполняемая. Проявление ошибок содержащихся в этой части, носит случайный характер и происходит по мере ее включения в работу.

После периода эксплуатации τ вследствие необходимости возложения новых функций на систему ПО подлежит модификации или полной замене на новую версию. В цикле жизни новой версии ПО можно выделить те же характерные участки (соответствующая кривая третьего участка обозначена цифрой 1). Попытки доработать и приспособить старую версию ПО для выполнения принципиально новых, непредусмотренных ранее функций, к более широким условиям применения могут привести к внесению в ПО значительного числа «вторичных» ошибок. После проведения нескольких подобных доработок ПО довольно часто признается неработоспособным (кривая 2 на рис. 1), указывающая на скачкообразное изменение интенсивности отказов ПО). Замена ПО на новую версию иногда производится до наступления периода, характеризуемого третьим участком графика, вследствие морального старения применяемой версии ПО. Так, например, производится замена операционных систем и трансляторов в вычислительных системах.

Проведенный анализ состояния дел в области создания и эксплуатации ПО удобно интерпретировать, если представить, как показано на рис. 2, что существует входное пространство V , которое определяется допустимым набором входных данных программы и их комбинаций [5]. Таким образом, входное пространство

представляет собой область определения программы, а его размер определяется функциональными возможностями программы. Для входного набора выделим множество, доступное при отладке и испытаниях программы, которому соответствует пространство испытаний I . В общем случае пространство испытаний может выходить за границы допустимых значений входного пространства, что объясняется двумя противоречивыми причинами. Во-первых, нечеткая постановка задачи испытаний вызывает отладку программы по данным, не имеющим места в реальной работе. Во-вторых, наоборот, наиболее опытные программисты предусматривают в разрабатываемых программах реакции на ситуации, вызываемые данными, которые лежат вне области определения, но могут наблюдаться в реальной работе. Для этих данных можно записать

$$\exists x \in (I \cap V).$$

Аналогично можно выделить области данных, которые будут выбираться при решении конкретных задач пользователей — пространства пользователей P_1, P_2, P_3 . Эти пространства также не обязательно должны целиком входить в пространство испытаний. Наличие непересекаемых областей, для которых

$$\exists x \in (P_i \cap V \cap \bar{I})$$

(на рис. 2 эти области заштрихованы), определяется существованием невыявленных при отладке ошибок в программе. При этом не следует классифицировать программной ошибкой источник отказа системы, вызванного выходом исходных данных программы за пределы области определения, т. е. данных из области, для которой

$$\exists x \in (P_i \cap V).$$

Прежде чем перейти к рассмотрению моделей программных ошибок, определим некоторые понятия, связанные с надежностью функционирования ПО, которых далее будем придерживаться.

Под ошибкой ПО понимается такое сочетание команд в программе, которое при их исполнении для исходных данных из области определения программы вызывает получение результатов, выходящих за допустимые границы выходных данных программы.

Под отказом ПО понимается событие неверного выполнения заданных функций, в том числе искажение выходных результатов, или полной потери работоспособности программы (типа заклинивания или АВОСТА), вызванного ошибкой ПО. Ошибки ПО проявляются лишь при определенных значениях и комбинациях множества входных данных программы. По аналогии с объектами техники для изделий ПО, очевидно, можно применять понятие «полного отказа», после возникновения которого дальнейшее использование ПО по назначению становится невозможным. Объекты ПО по признаку резерва (наличия избыточно-

сти) также могут делиться на простые и сложные, поэтому понятие «частичный отказ» представляется правомерным по отношению к ПО. Например, можно говорить о частичном программном отказе, если внутри ПО имеются обходные пути, позволяющие получить правильный результат при выходе на участок программы, содержащий ошибку.

Под с б о е м ПО понимается событие, заключающееся в получении неверных результатов в силу воздействия случайных факторов на программу при условии, что допустимое время работы программы еще не исчерпано.

С учетом системного подхода к ПО большого объема предлагается следующее определение. *Надежностью функционирования ПО* называется способность ПО выполнять в течение требуемого промежутка времени заданные функции на средствах автоматизации, для которых оно разработано, при условии предусмотренных в ТЗ отклонений входных данных (определенного входного пространства), ошибок оператора, эксплуатирующего программу, а также предусмотренных отклонений от правильного режима работы используемых технических средств.

Для количественной оценки степени надежности функционирования ПО предлагаются следующие показатели.

Количество программных ошибок N — количество остаточных после разработки ошибок в ПО, не обнаруженных при отладке.

Уровень отлаженности программы $P(k)$ — вероятностная величина, характеризующая степень (глубину) отладки программы. Данный показатель зависит от количества k серий испытаний и отладки программы.

Вероятность безотказной работы программы $R(t)$ — вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдет отказа ПО.

Необходимость количественной оценки настоящих показателей требует разработки и применения моделей ошибок больших программ. В основу предлагаемых моделей положена гипотеза о наличии зависимости между параметрами потока ошибок, выявляемых при отладке программ, и фактическим числом ошибок в программах. Основным допущением является предположение о пуассоновском распределении отказов ПО. Рассмотрим следующие вероятностные модели [5]: модель Желинского и Моранды — для оценки количества ошибок ПО; модель «роста» — для оценки уровня отлаженности программ; модель Вейбулла — для оценки вероятности безотказной работы ПО.

Модель Желинского и Моранды основана на следующих предположениях.

1. Интенсивность программных отказов $\lambda(t)$ в любой момент времени эксплуатации ПО пропорциональна количеству ошибок ПО.

2. Закон проявления ошибок ПО на этапах отладки и испытаний носит экспоненциальный характер, т. е. вероятность безотказной работы ПО $R(t) = e^{-\lambda(t)t}$.

3. Изменение интенсивности отказов ПО происходит дискретными скачками после этапов исправления обнаруженных ошибок ПО.

После того как в программе будет обнаружена и исправлена первая ошибка, интенсивность отказов ПО снизится до $p(N-1)$, где N — первоначальное (общее) количество ошибок в программе; p — коэффициент пропорциональности. Пусть t_1, t_2, \dots, t_n — выборка временных интервалов между зафиксированными отказами ПО; тогда в любом заданном интервале t_i интенсивность отказов ПО определится как $\lambda(t) = p[N - (i-1)]$.

Так как λ в интервале t_i имеет постоянное значение, то соответствующая ей функция плотности вероятности отказов ПО $f(t)$ определится выражением

$$f(t) = \lambda(t) R(t) = p[N - (i-1)] e^{-p[N - (i-1)]t}.$$

Методом максимального правдоподобия по заданным выборкам можно вычислить статистические характеристики \hat{N} и \hat{p} , соответствующие N и p . Тогда ключевое уравнение, имеющее только одно неизвестное N , будет иметь вид

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{N} - (i-1)} = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i}{\hat{N} \sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1) t_i}.$$

При этом коэффициент пропорциональности связан с N таким образом:

$$\hat{p} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \sum_{i=1}^n (i-1) t_i}.$$

Модель «роста» основана на следующих предположениях.

Установившееся значение уровня отлаженности программы при длительном процессе отладки будет достаточно близко к единице.

По истечении некоторого времени достигается точка практического прекращения роста уровня отлаженности программы.

Для оценки уровня отлаженности программ проводится k серий испытаний, в каждой из которой фиксируется количество $n(k)$ проведенных испытаний и количество $S(k)$ успешно-окончившихся испытаний. Уравнение «роста», позаимствованное из классической теории надежности, для ПО выглядит следующим образом:

$$P(k) = P(\infty) - \frac{\alpha}{k},$$

где $P(k)$ — величина, определяющая уровень отлаженности программы после k -й серии испытаний; $P(\infty)$ — установившееся

значение уровня отлаженности программы при достаточно большом k ($k \rightarrow \infty$); α — коэффициент, характеризующий скорость роста.

Для получения требуемой оценки необходимо определить значения параметров $P(\infty)$ и α . Применяя для этой цели метод наименьших квадратов, минимизируем функционал

$$Q = \sum_{k=1}^N \left(\frac{s(k)}{n(k)} - P(\infty) + \frac{\alpha}{k} \right)^2 = \min,$$

для чего находим частные производные Q по искомым параметрам и получаем

$$P(\infty) = \frac{c_2 \sum_{k=1}^N \frac{s(k)}{n(k)} - c_1 \sum_{k=1}^N \frac{s(k)}{kn(k)}}{Nc_2 - c_1^2},$$

$$\alpha = \frac{c_1 \sum_{k=1}^N \frac{s(k)}{n(k)} - N \sum_{k=1}^N \frac{s(k)}{n(k)}}{Nc_2 - c_1^2},$$

где

$$c_1 = \sum_{k=1}^N \frac{1}{k}, \quad c_2 = \sum_{k=1}^N \frac{1}{k^2}.$$

Модель Вейбулла основывается на следующих предположениях.

1. Плотность вероятности отказов ПО $f(t)$ является непрерывной функцией, причем $f(t) = 0$ при $t < 0$.

2. Интенсивность отказов ПО $\lambda(t)$ изменяется во времени: $\lambda(t) = \alpha \beta t^{(\beta-1)}$, где α — параметр амплитуды; β — параметр формы.

Тогда $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$.

Вероятность безотказной работы ПО в заданный момент времени эксплуатации определится как

$$R(t) = e^{-\int_0^t \alpha \beta t^{\beta-1} dt} = e^{-\alpha t^\beta}.$$

Значения α и β определяются эмпирически по накопленной в процессах отладки и эксплуатации ПО статистике, они могут корректироваться по текущим результатам эксплуатации.

Модель Вейбулла может применяться для оценки показателя на этапах отладки, испытаний и эксплуатации, когда интенсивность отказов ПО понижается за счет устранения выявленных ошибок ПО (что соответствует значениям $\beta > 1$), а также на этапах модификации и доработок ПО, когда интенсивность отказов ПО может понижаться или повышаться (последнее соответствует значениям $\beta < 1$).

Рассмотренные модели были программно реализованы и апробированы на реальных статистических данных, собранных при отладке трех систем ПО, объемом порядка 26К, 30К и 52К.

В качестве примера на рис. 3 показаны эмпирические кривые роста уровня отлаженности 10 программ одной из указанных систем ПО. Кривые были построены по результатам пяти серий испытаний, в каждой серии проводилось по 50 прогонов программ на тестовых наборах. Характер изменения уровня отлаженности программ отражает динамику процесса отладки и показывает глубину отладки — уровень отлаженности или бездефектности программ. Анализ построенных кривых позволил произвести объективный выбор альтернативных вариантов программ, а также помог более обоснованно спланировать оптимальную длительность этапов отладки ПО путем экстраполяционной оценки приемлемого значения уровня отлаженности ПО.

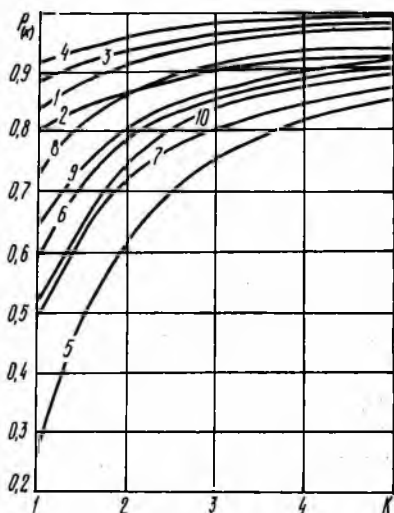


Рис. 3. Эмпирические кривые «роста» уровня отлаженности ПО

Список литературы: 1. Кулаков А. Ф. Оценка качества программ ЭВМ. К., 1984. 160 с. 2. Голинкевич Т. А., Сыромятников В. П. К вопросу о надежности математического обеспечения // Основные вопросы теории и практики надежности. М., 1980. С. 16—19. 3. Единая система программной документации. ГОСТ 19.102—77. Стадии разработки. М., 1982. 4. Липаев В. В. Проектирование математического обеспечения АСУ. М., 1977. 180 с. 5. Сыромятников В. П. Моделирование и оценка надежности функционирования программного обеспечения // Современные методы и средства программирования. М., 1981. С. 26—30.

Поступила в редколлегию 23.01.88

УДК 681.322

А. А. ПЫЛЬЦЫН, канд. пед. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛЕЗНОГО И ВРЕДНОГО ШУМА НА КАЧЕСТВО УСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ИНОЯЗЫЧНОЙ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОНОФОНИЧЕСКОМ И СТЕРЕОФОНИЧЕСКОМ РЕЖИМАХ

Проблема автоматического распознавания речевых сигналов в шумовых условиях может быть успешно решена только опираясь на данные исследований в области «человеческого» распознавания речи на фоне шумов всевозможного характера.

В большинстве публикаций по данному вопросу почти полностью игнорируются, на наш взгляд, два важных обстоятельства. Первое связано с пространственной локализацией источников звука, реализуемой человеком за счет бинауральной способности своего слуха, второе — со специфическими особенностями восприятия иноязычной речи в отличие от речи родной.

В данной статье предпринимается попытка выявить психофизиологические особенности слухового восприятия родной и иноязычной речи в монофоническом и стереофоническом режимах (моноуральное и бинауральное аудирование) на фоне шумовых помех различного характера.

В последнее время традиционная монофоническая звукотехника постепенно вытесняется более совершенной стереофонической. Появление стереофонии неслучайно: оно было продиктовано стремлением к достижению естественного звучания, поэтому ее «наступление» на монофоническую звукопередачу необратимо.

Преимущества стереофонии проявляются в двух направлениях: во-первых, она обладает способностью передавать пространственные «звуковые картины» за счет введения двухканальной системы записи звука, соответствующей бинауральному слуховому восприятию человека; во-вторых, она значительно улучшает акустические характеристики фонограммы. Первое преимущество можно считать более важным для методики обучения языкам.

Использование средств стереофонии, естественно, не могло оказаться незамеченным энтузиастами применения звуковых технических средств в обучении иностранным языкам. Однако, к сожалению, основная отличительная особенность стереофонической техники звукозаписи — способность передачи пространственных «звуковых картин» осталась до сих пор в тени. Внимание было направлено на улучшение акустических параметров фонограмм и на более высокую степень надежности эксплуатации аппаратуры. При этом следует отметить неоправданное увлечение эмоционально нейтральными фонограммами в ущерб эмоционально окрашенным, включающим в себя различные комбинации четырех возможных компонентов (речь, шум, музыка, паузы). Действительно, если содержание фонограммы состоит только из речи диктора, то вопрос о пространственном расположении источников звука не может даже ставиться, так как при одном источнике звука речевой сигнал может доноситься только из одной точки пространства. Если же фонограмма создается в виде диалога или полилога в условиях сочетания дикторской речи с эмоциональным шумовым фоном, сосредоточение двух или нескольких сигналов в одной точке уже является неестественным для реального акта коммуникации.

Отсутствие публикаций об особенностях восприятия иноязычной речи в режиме стереофонического звуковоспроизведения и об анализе возможностей использования стереоэффектов при обучении иностранным языкам побудили нас провести серию опытов по изу-

чению воздействия функционального шума на качество восприятия и усвоения иноязычной речи в моно- и стереорежимах.

Термин «функциональный шум», предлагаемый нами по аналогии с термином «функциональная музыка», распространенным в инженерной психологии, с одной стороны, включает в себя шумовые эффекты, способствующие выполнению мыслительных операций (полезный фон, так называемые «звуковые картины»), а с другой — шум, искусственно препятствующий выполнению мыслительно-речевых операций. В последнем случае речь идет о чисто тренировочных упражнениях для формирования навыков аудирования в неблагоприятных акустических условиях. Иными словами, функциональный шум может в зависимости от целей обучения быть как полезным, стимулирующим положительные эмоции, так и вредным, вызывающим эмоции отрицательного характера. Применительно к обучению иностранным языкам функциональным называется шум, выполняющий определенную функцию приближения условий восприятия иноязычной речи к условиям реального акта коммуникации.

Под условиями акта коммуникации понимается естественное шумовое окружение коммуникантов во время устноречевого общения в натуральных условиях (на улице, в помещении выставки, в транспорте, в цехах предприятий, на природе и т. д.). Несомненно, в естественных условиях речевого общения могут встречаться и условия относительной изоляции собеседников от посторонних звуков, но это крайне нетипично.

Проблема обучения иностранному языку в условиях экстралингвистического шума не является новой. Целесообразность включения в состав учебных фонограмм шумовых и музыкальных эффектов подчеркивалась и другими авторами (см., например, [1, 2]), однако практическая реализация и дальнейшее теоретическое обоснование высказанных идей в значительной мере тормозилось отсутствием экспериментальных данных об особенностях восприятия иноязычной речи на фоне шумов.

Проведение серии наших экспериментов преследовало цель в некоторой степени восполнить этот пробел, внести ясность в следующие вопросы: каковы особенности восприятия иноязычной речи в стерео- и монорежимах на фоне вредных шумов; какое воздействие оказывают стереофонические эффекты пространственного расположения и перемещения источников звука на качество восприятия речевых сигналов; какова степень положительного воздействия полезного шумового фона в составе стереофонических «звуковых картин» на качество усвоения учебной информации.

Экспериментальное изучение степени отрицательного воздействия вредного шума на распознавание речи в условиях стерео- и монорежимов проводилось на протяжении периода с 1980 по 1983 г. В 1980 г. в эксперименте приняло участие 40 слушателей факультета повышения квалификации при Киевском государственном педагогическом институте иностранных языков и 80 студентов первого, второго и третьего курсов Харьковского автомо-

бильно-дорожного института. В 1981 г. эксперимент был расширен путем привлечения дополнительного количества студентов четвертого и пятого курсов (50 человек). Затем, в 1983 г. эксперимент проводился с группой студентов второго и третьего курсов факультета английского языка Киевского государственного педагогического института иностранных языков (20 человек). Общее число испытуемых, таким образом, составило 190 человек. Выбор участников эксперимента был мотивирован. Основная цель заключалась в том, чтобы пронаблюдать особенности восприятия дикторской речи на фоне градуированного по интенсивности «белого шума», оказывающего на слушателя наиболее раздражающее воздействие и имеющего сплошной спектр во всем диапазоне частот, группами испытуемых с самой различной степенью тренированности навыков аудирования иноязычной речи.

Для проведения эксперимента применялась аппаратура, обеспечивающая полосу пропускания частот в пределах 40—1800 Гц. Это с большим запасом позволяло получать неискаженное воспроизведение речевых сигналов, частотный диапазон которых колеблется лишь в пределах от 100 до 800 Гц [3].

В первый раз участникам эксперимента было предложено записать на слух цепочки числительных, начитанных диктором на фоне «белого шума» (шум работающего двигателя). Выбор числительных в качестве вербального материала был обусловлен тем, что на данном этапе исследования необходимо было выявить особенности восприятия речи в «чистом виде» без элементов домысливания, контекстуальной догадки и т. д. Чистота эксперимента обеспечивалась: сравнительно большим количеством испытуемых; использованием приема перекрестного варьирования режимов, при котором один и тот же вербальный материал предъявлялся в разных группах поочередно либо в стереофоническом, либо в монофоническом режимах; созданием наименее «выгодных» для получения желаемого результата условий, при которых стереофонический режим предшествовал монофоническому с учетом возможной адаптации к прослушиванию речи на фоне шума.

Экспериментальная фонограмма создавалась следующим образом: на дорожку «1» диктором начитывалось 24 английских числительных в произвольном порядке (12 — в стереорежиме, 12 — в монорежиме) с небольшими паузами для графической фиксации воспринятых числительных. Затем, на дорожку «3» записывался шум работающего двигателя. Вначале его уровень был равным уровню громкости речи диктора и записывался на отрезке первых четырех числительных. Потом соответственно второму и третьему отрезкам уровень шума возрастал в два и три раза.

Относительный уровень шума, представляющий собой соотношение уровней шума и речи, определялся при помощи стрелочного индикатора. Использование шумомера представилось нецелесообразным, поскольку интерес представлял не сам уровень шума в децибелах, а пропорции уровней шума и речи. Кроме того, введение дополнительных единиц измерения осложнило бы ход и об-

работку результатов эксперимента. В обоих режимах числительные были, естественно, разными, но подбирались с учетом, примерно, одинаковой сложности восприятия на слух.

Обработка результатов эксперимента позволила сделать вывод о том, что в монофоническом режиме качество восприятия речевых сигналов резко ухудшается по мере возрастания уровня шума. При соотношении уровней шума и речи, равном 1:2, начинает наблюдаться ухудшение качества восприятия полезной информации. При соотношении 1:1 — качество восприятия резко ухудшается, а при соотношении 2:1 восприятие речевых сигналов становится практически невозможным.

В стереофоническом же режиме наблюдалась совершенно иная картина. Отрицательное воздействие шума на разборчивость дикторского текста было настолько незначительно, что шестидесяти процентам испытуемых удалось правильно записать все числительные даже в том случае, когда уровень шума в три раза превышал уровень речевого сигнала.

На второй стадии эксперимента исследовались те же особенности восприятия, но при многократном предъявлении. Испытуемым разрешалось под контролем руководителей эксперимента при втором и третьем прослушивании вносить коррективы в свои записи. Целью второй стадии было исследовать возможность совершенствования навыков аудирования в условиях акустических помех как в моно-, так и в стереорежимах.

В результате выяснилось, что в стереофоническом режиме второе предъявление дало стопроцентную правильность восприятия, в то время как двух-, трех- и более кратное предъявление в монофоническом режиме на качество восприятия практически не повлияло.

На третьей стадии эксперимента исследовались те же особенности восприятия иноязычной речи на фоне шума, но теперь уже в качестве вербального материала были взяты «связные» тексты из газет «Известия» и «Moscow News», вполне доступные по своей сложности для аудирования каждой из групп испытуемых. Проведение этой стадии эксперимента оказалось необходимым для выяснения степени отрицательного воздействия вредного шума на разборчивость связного текста на родном и на изучаемом иностранном языке. Подобное сопоставление представлялось весьма полезным, так как именно в сравнении наиболее четко прослеживались факторы, которые более всего нас интересовали в связи со сформулированной гипотезой.

В качестве же рабочей гипотезы было выдвинуто положение о том, что восприятие речи на фоне шума, уровень которого препятствует аудированию, но не делает его невозможным, в значительной степени затруднено при использовании монорежима и в гораздо меньшей степени при использовании стереорежима.

С учетом результатов первых двух стадий эксперимента значение относительного уровня шума здесь было выбрано равным 3:4, т. е. уровень шума был несколько меньше уровня речи, что

обеспечивало достаточную возможность распознавания речевых сигналов в обоих режимах.

В результате оказалось возможным констатировать, что восприятие текста на родном языке на фоне вредного шума протекало без видимых затруднений со стороны испытуемых. Совершенно иная картина наблюдалась при восприятии ими аудиотекста на иностранном языке. Несмотря на то, что аудиотекст не содержал неизвестных для студентов лексических и грамматических явлений, в монорежиме только в 30 % случаев при однократном прослушивании частично было передано его содержание. В стереорежиме восприятие текстов при соотношении уровней шума и речи, равном 3:4, оказалось практически таким же качественным, как и при отсутствии шумов. Заметное ухудшение качества восприятия в стереорежиме при аудировании связного текста наблюдалось только в том случае, когда уровень шума в два раза и более превышал уровень полезного сигнала.

Приведенные данные свидетельствуют о предпочтительности стереофонического режима для сочетания речи с шумовыми эффектами. Этот вывод может быть справедливым не только относительно вредного шума, но и полезного шумового фона учебных эмоциональных фонограмм.

Целью следующей стадии эксперимента было пронаблюдать воздействие присущих стереофоническому режиму эффектов пространственного расположения и перемещения источников звука на качество восприятия речевой информации.

Перед началом эксперимента были выдвинуты две противоположные гипотезы, согласно которым подобные эффекты могут либо отвлекать обучаемых от восприятия учебного материала, либо, наоборот, способствовать лучшему его усвоению.

Для проверки выдвинутых гипотез в 1983 г. были проведены лабораторные эксперименты с группой студентов третьего курса Киевского государственного педагогического института иностранных языков.

В стереофоническом режиме группе испытуемых (24 чел.) было предложено прослушать фонограмму с двенадцатью английскими числительными с установкой на их запоминание. Специальным предваряющим тестом устанавливалось, что у всех испытуемых функционирование обоих слуховых каналов было в норме.

Для обеспечения чистоты эксперимента необходимым явилось соблюдение следующих условий: отрезок информации должен быть однородным по сложности слухового восприятия; между отдельными составляющими отрезка информации не должно быть логической, грамматической, семантической и т. д. связи, т. е. должна быть полностью исключена возможность контекстуальной догадки; отрезок информации должен быть составлен из одинаково хорошо известных всем испытуемым лексических единиц, т. е. одни слова не должны быть намного сложнее других. Наиболее подходящим для этого эксперимента материалом вновь оказались цепочки числительных.

Опыт проводился следующим образом. В монорежиме звук доносился из одной точки, а в стереорежиме локализация источника звука трижды менялась: вначале звук доносился справа, затем из суммарной точки посередине, затем слева. Статистическая обработка данных выявила, что качество запоминания в стереорежиме была на 40 % лучше, чем в монорежиме. Наименьшее количество ошибок было допущено в передаче тех числительных, которые предъявлялись непосредственно после перемещения источника звука, т. е. изменение локализации не только не отвлекало студентов от учебного материала, но, напротив, активизировало их внимание и запоминание.

Последующее подтверждение эта мысль получила в ходе исследований по изучению качества восприятия фабульной информации на фоне полезного шума. В качестве экспериментальной «звуковой картины» был использован фрагмент студийной стереофонограммы в исполнении английских актеров. Фонограмма была начитана с использованием разнообразных полезных шумовых эффектов, имитирующих природу джунглей. Широко использовались стереофонические эффекты пространственного расположения и перемещения источников звука, способствующие созданию внутренней наглядности при прослушивании «звуковой картины». Продолжительность звучания фрагмента составляла 7 мин.

Контроль качества восприятия и усвоения осуществлялся путем анализа ответов на вопросы, касающиеся как содержания текста «звуковой картины», так и языковых средств выражения авторской мысли. Ответы студентов оценивались по десятибалльной системе в зависимости от правильности и точности употребления языковых средств и от количества фактов информации при пересказе того или иного отрывка.

Статистическая обработка данных свидетельствовала о наиболее адекватном понимании и качественном усвоении всеми испытуемыми именно тех отрывков, которые сопровождались соответствующими речевой ситуации шумовыми эффектами.

Таким образом, экспериментальное изучение особенностей восприятия иноязычной речи на фоне полезного и вредного шума в стерео- и монорежимах позволило сделать следующие выводы.

1. Формирование навыков аудирования в условиях вредного шума целесообразно проводить только в режиме стереофонического звуковоспроизведения.

2. Стереофонический режим является наиболее пригодным для создания «звуковых картин», так как в его условиях практически отсутствует необходимость в искусственном занижении уровня шума относительно уровня речи. Уровень шума может даже в несколько раз превышать уровень речи, что позволяет имитировать условия реального коммуникативного акта.

3. Полезные шумовые эффекты и эффекты пространственного расположения и перемещения источников звука в стереофоническом режиме служат хорошим стимулом для привлечения внимания

и активизации речемыслительной активности обучаемых. Это расширяет возможности преподавателя при создании и отборе соответствующих звуковых пособий.

Список литературы: 1. *Бенедиктов Б. А., Степанов А. А.* Психологическое обоснование применения технических средств для обучения иностранным языкам// *Материалы межвузовского совещания по проблемам применения технических средств обучения для интенсификации обучения иностранным языкам.* 1971. Вып. 1. 2. *Коваленко Ю. И.* О системе упражнений в устном переводе (специальный магнитофонный курс)// *Коммуникация и обучение иностранным языкам.* Минск, 1970. С. 17—21. 3. *Справочник по инженерной психологии*/Под ред. Б. Ф. Ломова. М., 1982. 73 с.

Поступила в редколлегию 23.10.87

УДК 62.506.2:658.5.011

Б. В. ДЗЮНДЗЮК, канд. техн. наук, Т. И. СТЕПАНОВА, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСА ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПЕРАТОРА

В [1] авторами предложена математическая модель влияния комплекса изменяющихся во времени факторов окружающей среды на параметры, характеризующие функциональное состояние оператора ФСО. Обоснована целесообразность выбора динамической, стохастической, непрерывной линейной модели. Такая модель имеет вид

$$y(t) = v(t) + \varepsilon_y(t), \quad x(t) = u(t) + \varepsilon_x(t), \quad v(t) = \int_0^{\infty} w(\tau) u(t - \tau) d\tau,$$

где $y(t)$ — вектор-функция параметров, характеризующих ФСО; $x(t)$ — вектор-функция параметров, характеризующих состояние внешней среды рабочего места оператора. Здесь $v(t)$ — детерминированная составляющая $y(t)$ (вектор-функция той же размерности); $\varepsilon_y(t)$ — стохастическая составляющая $y(t)$. Аналогично $u(t)$ и $\varepsilon_x(t)$ — соответственно детерминированная и стохастическая составляющая вектор-функции $x(t)$.

Для идентификации модели предложено применять уравнение Винера-Хопфа. Для реализации приведенных выше результатов были использованы журналы наблюдений, проведенных сотрудниками НИИ ГТПЗ АМН СССР на предприятии «Плутон». Некоторые результаты этого исследования приведены в [2].

Нами были использованы результаты хронометража работы 12 операторов трех специальностей с различными условиями труда. Период наблюдений составил от 4 до 6 суток. В течении каждой смены проводилось измерение параметров, характеризующих функциональное состояние оператора (3 раза в смену) и измерения параметров, характеризующих условия труда (ППЭ ЭМИ СВЧ и температуры воздуха). Показателями функционального состояния являлись: время реакции на световой раздражитель, уровень артериального давления и частота сердечных сокращений.

Обработка данных проводилась следующим образом. Данные об условиях труда интерполировались на период между сменами

значением ППЭ, равным нулю, и значением температуры воздуха, равным 20 °С. Данные о параметрах ФСО интерполировались по методу Эйткена-Лагранжа.

Таким образом, были получены однородные временные ряды для исследуемых параметров. Затем полученные временные ряды были отцентрированы. На их основании были вычислены значения элементов корреляционных матриц-функций $R_{xx}(\tau)$ и $R_{xy}(\tau)$.

Решение уравнения Винера-Хопфа проводилось путем его дискретизации и сведения к четырем системам линейных уравнений. Была принята следующая нумерация факторов внешней среды: 1 — уровень ППЭ ЭМИ; 2 — температура воздуха. Нумерация параметров ФСО: 1 — уровень систолического артериального давления; 2 — уровень диастолического артериального давления; 3 — частота сердечных сокращений; 4 — время сенсомоторной реакции на световой раздражитель.

Каждая система имеет вид:

$$\begin{pmatrix} (R_{xx})_{11} & (R_{xx})_{12} \\ (R_{xx})_{21} & (R_{xx})_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_{i1} \\ w_{i2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_{xy})_{i1} \\ (R_{xy})_{i2} \end{pmatrix},$$

где

$$(R_{xx})_{pq} = \begin{pmatrix} (R_{xx}(0))_{pq} & (R_{xx}(\Delta t))_{pq} & \dots & (R_{xx}((N-1)\Delta t))_{pq} \\ (R_{xx}(\Delta t))_{pq} & (R_{xx}(0))_{pq} & \dots & (R_{xx}((N-2)\Delta t))_{pq} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (R_{xx}((N-1)\Delta t))_{pq} & (R_{xx}((N-2)\Delta t))_{pq} & \dots & (R_{xx}(0))_{pq} \end{pmatrix}$$

— матрица размера $N \times N$;

$$i = 1, 2, 3, 4; w_{ir} = (w_{ir}(0), \dots, w_{ir}((N-1)\Delta t))^T,$$

$$(R_{xy})_{ir} = ((R_{xy}(0))_{ir}, \dots, (R_{xy}((N-1)\Delta t))_{ir})^T.$$

Здесь $N-1$ — число интервалов разбиения отрезка T_w ; Δt — дискретность разбиения времени; T — знак транспонирования матрицы. Имеет место соотношение $T_w = (N-1)\Delta t$.

На основании эвристического анализа матрицы-функции $R_{xy}(\tau)$ выбраны значения $T_w = 6$ ч. и $\Delta t = 0,33$ ч. Таким образом, $N = 19$.

Система линейных уравнений решалась методом Гаусса с выбором главного элемента.

В целях регуляризации решения было применено сглаживание полученных результатов. На основании графического анализа результатов для функций $w_{11}(\tau)$, $w_{21}(\tau)$, $w_{32}(\tau)$, $w_{41}(\tau)$ была выбрана формула $w(\tau) = ae^{-b\tau}$, (1)
для функций $w_{22}(\tau)$, $w_{31}(\tau)$, $w_{42}(\tau)$ — формула $w(\tau) = a\tau^b e^{-c\tau}$ (2)
и для функций $w_{12}(\tau)$ и $w_{31}(\tau)$ — формула $w(\tau) = a$.

Соотношения (1), (2) были линеаризованы путем логарифмирования. Затем коэффициенты определялись методом наименьших квадратов. В результате получены соотношения

$$w_{11}(\tau) = 0,083e^{-0,1613\tau}; \quad w_{21}(\tau) = 5,6 \cdot 10^{-3}e^{-0,3402\tau};$$

$$w_{31}(\tau) = 0,00406; \quad w_{41}(\tau) = 9,14 \cdot 10^{-5}e^{0,0355\tau}; \quad w_{12}(\tau) = -0,00324;$$

$$\omega_{22}(\tau) = 0,277\tau^{1,049}e^{-0,5498\tau}; \quad \omega_{32}(\tau) = 0,332e^{-0,3279\tau};$$

$$\omega_{42}(\tau) = 1,134 \cdot 10^{-3}\tau^{1,7480}e^{-1,023\tau}.$$

Анализ полученных аналитических зависимостей свидетельствует о том, что в общем случае наблюдаются явления запаздывания накопления эффекта и экспоненциального восстановления. В качестве исключения можно рассматривать $\omega_{31}(\tau)$, для которого за период $T_w = 6$ ч., по-видимому, еще не наблюдается восстановление.

Полученные при идентификации результаты были проверены на адекватность исходным экспериментальным данным. С этой целью произведены вычисления, основанные на предложенных в работе [3] методиках.

Для каждого человека и каждого параметра y_i ФСО на основании модели вычислены оценки \hat{y}_i .

$$\hat{y}_i(t_k) = \hat{y}_i + \int_0^T [\omega_{i1}(\tau)x + (t_k - \tau) + \omega_{i2}(\tau)x_2(t_k - \tau)] d\tau,$$

где \hat{y}_i — среднее значение y_i за период наблюдения; t_k — момент замеров параметров, характеризующих ФСО (кроме замера в начале первой исследуемой смены); $k=1, \dots, N$; $\omega_{ij}(\tau)$ — значение элемента переходной матрицы-функции; $j=1,2$; $i=1, 2, 3, 4$, $x_j(t)$ — центрированное значение параметра среды; $x_1(t)$ — уровень ППЭ ЭМИ СВЧ

$$\begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 20^\circ \text{C} \\ t - 20^\circ \text{C} & \text{— в противном случае;} \end{cases}$$

$$\bar{T} = \min_k (t_k, T_w).$$

Затем были определены отклонения измеренных и предсказанных значений параметров: $\varepsilon_i(t_k) = y_i(t_k) - \hat{y}_i(t_k)$. Здесь $y_i(t_k)$ — измеренные y_i .

Далее по критерию Стьюдента проверялась гипотеза о равенстве нулю средних отклонений $\bar{\varepsilon}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \varepsilon_i(t_k)$.

С этой целью вычислялись значения $\tau_{ii} = \frac{\sqrt{N} \bar{\varepsilon}_i}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N \varepsilon_i^2}}$,

после чего оценивалась доверительная вероятность $\alpha_i^{(i)}$, равная вероятности ошибки, которая будет совершена, если отвергнуть предложенную гипотезу;

$$\alpha_i^{(i)} = 1 - \int_{-\tau_{ii}}^{\tau_{ii}} \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)}{\sqrt{\pi N} \Gamma\left(\frac{N-2}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{(N-1) - \frac{N}{2}}\right) dx.$$

Проведен анализ результатов. В статистике принято принимать нулевую гипотезу (о совпадении) при $\alpha \geq 0,1$. В нашем слу-

чае минимальное значение $\alpha_i^{(t)}$ составило 0,16. В целом по всем опытам доля случаев с $\alpha_i^{(t)} \geq 0,5$ составила 75 %, в том числе для $i=1$ —75 %; $i=2$ —66 %; $i=3$ —75 % и $i=4$ —91 %.

Не обнаружено существенных отклонений $\alpha_i^{(t)}$ при применении сглаженных и несглаженных значений $w_{ij}(\tau)$.

Далее проверке подвергалась гипотеза о независимости в разные моменты времени, для чего были вычислены нормированные временные ряды $\hat{\varepsilon}_i(t_k) = \frac{\varepsilon_i(t_k) - \bar{\varepsilon}_i}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (\varepsilon_i(t_k) - \bar{\varepsilon}_i)^2}}$.

Пусть $k(\Delta t) = \{k: t_{k+1} - t_k = \Delta t\}$ — множество номеров моментов времени t_k , для которых интервал до следующего момента времени равен Δt .

Обозначим $|k(\Delta t)|$ — число элементов в множестве $k(\Delta t)$. При $\Delta t = 3$ ч. в множестве $k(\Delta t)$ попадают моменты, соответствующие началу, середине и концу смены.

Были вычислены значения $r_i(3) = \frac{1}{|k(3)|} \sum_{k \in K(3)} \hat{\varepsilon}_i(t_k) \hat{\varepsilon}_i(t_{k+1})$.

Затем вычислялись значения статистических критериев $F_i(3) = (|k(3)| - 1) \frac{r_i(3)}{1 - r_i^2(3)}$

и доверительные вероятности (для распределения Фишера)

$$\alpha_F^{(t)} = 1 - \int_0^{F_i(3)} \frac{\Gamma\left(\frac{\omega+1}{2}\right) dx}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{\omega}{2}\right) \sqrt{\omega x} \left(1 + \frac{x}{\omega}\right)^{\frac{\omega+1}{2}}}$$

где $|k(3)| - 1$.

Минимальное значение $\alpha_F^{(t)}$ составляет 0,13. В целом по всем опытам для случаев с $\alpha_F^{(t)} \geq 0,5$ составила 50 %, в том числе для $i=1$ —66, для $i=2$ —41; $i=3$ —66 и $i=4$ —25 %.

Не обнаружено существенных отклонений $\alpha_F^{(t)}$ при применении сглаженных и несглаженных значений $w_{ij}(\tau)$.

Следовательно, гипотеза о независимости остатков $\varepsilon_i(t_k)$ может быть принята. Таким образом, в результате проверки адекватности подтверждается применимость линейной динамической стохастической модели для влияния уровня ППЭ ЭМИ и температуры воздуха на параметры функционального состояния организма обследованных операторов.

Список литературы: 1. Дзюндзюк Б. В., Степанова Т. И. Идентификация реакции человеческого организма на воздействие условий труда и оптимизация технологических процессов с точки зрения охраны труда // Пробл. бионки. 1987. Вып. 39. С. 87—91. 2. Зависимость биоэффектов микроволнового облучения от интенсивности и длительности воздействия: Отчет о НИР НИИ гигиены труда и профзаболеваний. № ГР 74062615; инв. № Б 566490. М., 1976. 242 с. 3. Кашьял Р. Л., Рао А. Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М., 1983. 384 с.

Поступила в редколлегию 14.04.88