

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

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

**Республиканский
межведомственный
научно-технический
сборник**

Основан в 1968 г.

В Ы П У С К 35

**ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1985**

Проблемы бионики: Респ. междувед. науч.-техн. сб. — Х.: Ви-
ща шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985.— Вып. 35. 129 с.

Сборник посвящен математическому описанию функций
и механизмов человеческого интеллекта. Освещены результаты
моделирования функций языка и речи, зрения и слухового
восприятия. Рассмотрены прикладные вопросы психологи-
ческой бионики. Предложены новые методы и принципы по-
строения различных технических устройств, основанных на
бионических принципах.

Нормативные материалы приведены по состоянию на
1 января 1985 г.

Для научных работников и специалистов.

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

Адрес редакционной коллегии: 310141, Харьков, пр. Ле-
нина, 14, институт радиоэлектроники, тел. 40-93-66

Редакция естественнонаучной литературы

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Выпуск 35

Редактор *А. П. Гужва*
Художественный редактор *Т. П. Воробийенко*
Технический редактор *Г. П. Александрова*
Корректор *Л. М. Забродина*

ИБ 9496

Сдано в набор 29.10.84. Подп. в печать 23.01.85. БЦ 09097. Формат
60×90/16. Бумага типогр. № 3. Лит. гарн. Выс. печать. 8 печ. л.
8,25 кр.-отт. 9,9 уч.-изд. л. Тираж 1000 экз. Изд. № 1319. Зак. 4-446.
Цена 1 р. 40 к.

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

Харьковская книжная фабрика «Коммунист», 310012, Харьков-12,
ул. Энгельса, 11.

152000000-014
II М226(04)-85 501-85

© Издательское объединение
«Вища школа», 1985

Э. А. ДЕДИКОВ, канд. техн. наук,
Р. Н. ЧЕН, канд. техн. наук

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОШИБОК В ИМЕНАХ

Одним из достоинств любой автоматизированной системы обработки данных (АСОД) является возможность автоматически установить правильность написания имен (или запросов) пользователем этой системы. Анализ наиболее часто совершаемых ошибок (или неточностей в формулировании и написании) в именах запрашиваемых документов позволил выделить следующие основные их типы¹: 1) наличие орфографической ошибки в одном из слов, входящих в имя, т. е. имеется одно неправильное слово; 2) наличие более одного неправильного слова в имени; 3) перестановка двух смежных слов в имени; 4) перестановка двух несмежных слов в имени; 5) перестановка более двух слов в имени; 6) пропуск одного слова; 7) пропуск более одного слова; 8) добавление лишнего слова в имя; 9) добавление более одного слова в имя.

В соответствии с перечисленными типами ошибок предлагается следующий принцип распознавания их в именах. Установление неточности в словах (т. е. наличие ошибки) производится с помощью построения корректирующего словаря [1]. Для распознавания ошибок в именах предлагается строить отдельный словарь связей. Таким образом, имеется два этапа в организации словарей: формирование словаря слов; формирование словаря имен и связей.

Организация словаря ключевых слов. Каждое слово, входящее в имя, записывается в собственно словарь ключевых слов [2]. Применение метода хеширования в данном случае дает наилучшие результаты, так как он является самым быстроедействующим методом программного поиска. Это его качество проявляется особенно ярко при работе с наборами данных большого размера [3]. В соответствии с этим методом каждое ключевое слово помещается в ячейку памяти (а затем выбирается оттуда), адрес которой — значение простой арифметической функции содержимого ключевого слова. В качестве «содержимого», к которому применяется функция хеширования, можно взять все или некоторые символы, входящие в ключевое слово.

Выбор числа символов, рассматриваемых как новое хешируемое ключевое слово, зависит от объема имеющейся памяти

¹ Два имени считаются равными, если равны входящие в него слова на соответствующих позициях, при этом имена должны быть равной длины, т. е. содержать одинаковое количество слов. Слова A и B равны ($A = B$), если равны их длины ($l_A = l_B$) и символы этих слов, расположенные на одинаковых местах, совпадают [1].

ЭВМ, а также от используемых методов хеширования. Определение нового ключевого слова зависит как от содержания исходного ключевого слова, так и от их количества. Для хеширования слов русского языка использовать монограммы, биграммы или все символы слова неэффективно, так как в первом случае можно получить всего $32 + 32^2$ адресов (это слишком мало для размещения даже минимума слов), а во втором — 32^{18} адресов (18 — это среднестатистическая длина слов в общелитературном русском языке). При этом получается избыточное число адресов, получаемых из несуществующих слов, что ведет к очень низкой коэффициенту заполнения памяти. Чтобы получить разумное число адресов, требующее минимум памяти, предлагается использовать в качестве новых ключевых слов триграммы, т. е. хешировать первые три символа из каждого ключевого

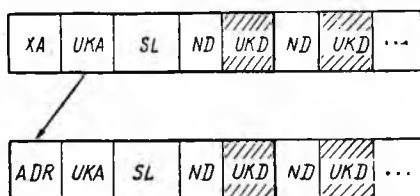


Рис. 1. Структурная схема словаря ключевых слов: *SL* — хешируемая триграмма исходного ключевого слова; *XA* — хеш-адрес слова *SL*; *UKA* — указатель на адрес свободной ячейки (для разрешения коллизий); *ND* — номер имени документа, в котором встречается слово *SL*; *UKD* — указатель, т. е. адрес ячейки на следующий номер документа, который в имени также содержит данное слово *SL*; *ADR* — адрес свободной ячейки

для проверки сходства слов. Для поиска пустой ячейки производится последовательный просмотр всей хеш-таблицы. В случае, когда по вычисленному адресу нет требуемого слова, процедуру пробинга необходимо выполнять по цепочке *UKA* до тех пор, пока искомое слово не будет найдено.

Организация словаря имен и связей. Такой словарь (рис. 2) содержит информацию о связях имен документов по входящим в них словам. Основное его назначение заключается в том, чтобы при необходимости можно было выбрать все имена документов, которые содержат 1, 2, ..., *n* равных триграмм. Значение $n=15$, так как из практики видно, что большинство имен документов содержит не более 15 слов.

Таким образом, в словаре связей для каждого номера доку-

¹ Ошибкой может быть и случай, когда первые три символа двух различных правильных слов отличаются одним символом в одной позиции.

мента ND с именем ID записываются все номера документов, которые содержат в имени 1, 2, ..., n триграмм, входящих и в ID .

Организация поиска подобных имен. Имена документов, содержащие хотя бы одно одинаковое слово, назовем подобными. Степень подобия определяется количеством совпавших слов, т. е. триграмм. В зависимости от заданной степени подобия n из файла связей выбираются все номера документов, которые содержат в имени n триграмм, имеющихся также и в исходном имени документа. Алгоритм поиска подобных имен следующий.

1. Найти входное имя документа. Если найдено, перейти на КОНЕЦ.

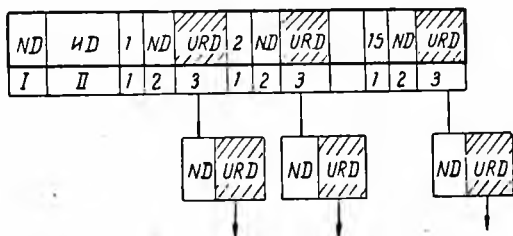


Рис. 2. Структурная схема словаря имен и связей: $I, II, 1, 2, 3$ — номера полей; I — ND — номер имени документа; II — ID — имя документа, состоящее из триграмм; $1 = 1, 2, \dots, 15$ — номера участков памяти, указывающие на количество совпавших триграмм в именах документов; 2 — ND — номер документа, который содержит n равных слов с ID (поле II); 3 — URD — указатель, т. е. значение адреса, на следующий номер документа, содержащий в своем имени n равных слов

2. Определить все входящие в поисковое имя триграммы.

3. Для каждой триграммы в словаре ключевых слов найти все номера документов $\{N\}$, в которые она входит.

4. Через консоль (или другим каким-нибудь образом) получить значение степени подобия n , т. е. число из интервала $[1, 15]$.

5. Выбрать из $\{N\}$ все номера документов, в имена которых входит n триграмм, входящих также во входное поисковое имя.

6. Выдать все выделенные номера документов на консоль или АЦПУ.

7. Конец.

В результате поиска пользователю выдаются все имена, подобные входному, с заданной степенью подобия. Из них пользователь может указать на одно, являющееся правильным относительно входного. Если будет найдено только одно имя, то, по соглашению, оно может обрабатываться дальше как правильное, либо пользователь должен подтвердить правильность найденного корректирующего имени документа.

Таким образом, для распознавания ошибок в именах предлагаются следующие этапы работ: создание корректирующего словаря ключевых слов; организация словаря связей имен документов; установление степени подобия имен документов;

поиск имен документов, подобных входному, в соответствии с заданной степенью подобия; выдача пользователю множества подобных имен для выбора корректирующего.

Список литературы: 1. Дедиков Э. А., Чен Р. Н. Организация корректирующего машинного словаря имен с помощью аддитивной функции хеширования. — Пробл. бионики, 1982, вып. 28, с. 14—19. 2. Чен Р. Н. Об алгоритме исправления ошибок орфографии с использованием метода корректирующего словаря. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 32—35. 3. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ: Сортировка и поиск. — М.: Мир, 1978. — 846 с.

Поступила в редколлегию 19.06.84.

УДК 519. 76:681.3

*М. Ф. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук,
В. Л. НИКОЛАЕНКО*

МЕТОДИКА АНАЛИЗА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ПО ИХ «ДИНАМИЧЕСКИМ ПОРТРЕТАМ»

Предметом внимания исследователей, занимающихся автоматической обработкой речевых сигналов, являются не отдельные звуки речи, а слоги, слова, фразы, т. е. отрезки речевого сигнала. Их длина в конечном итоге определяется выбранной частотой дискретизации аналогового сигнала и физическими возможностями операционных систем ЭВМ, которые связаны с ограничениями на размеры массивов, организуемых в оперативной памяти ЭВМ. Нами, с учетом психофизического эффекта сглаживания в слухе [1], выбрана частота дискретизации речевого сигнала, равная 38 кГц. А поскольку отладка алгоритмов обработки речевых сигналов осуществлялась в ДОС ЕС ЭВМ (что давало возможность организовать в оперативной памяти массив размерностью в 32000 элементов), мы имели возможность автоматически обрабатывать отрезки речевого сигнала длительностью 0,8 С. Таким образом, нам были доступны для анализа не только отдельные звуки и слоги, но и слова. Заметим, что по данным работы [2] средняя длительность произнесения слова для русской речи составляет 0,8 С, а средняя длина слова — 2,9 слога.

Известно, что открытые слоги в русском языке занимают доминирующее положение [3]. Наиболее распространенный тип слога — согласный-гласный (СГ). Как отмечено в [4], речь есть объединение в непрерывную последовательность открытых слогов, каждый из которых может содержать различное количество согласных. По данным работы [5], открытые слоги типа СГ и ССГ занимают соответственно 52, 34 и 27, 43% текста объемом 100550 слогов. Это обстоятельство определило наш выбор типа слога.

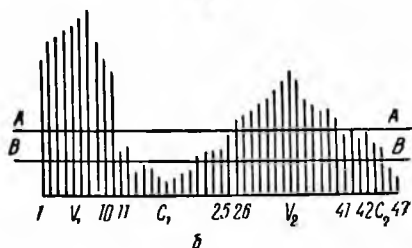
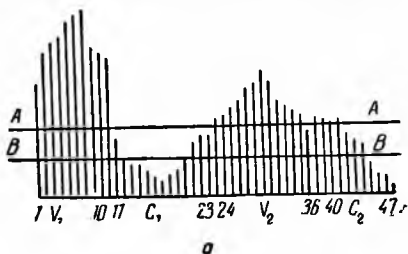
Были подобраны слова, содержащие согласные в положении между гласными с ударением на гласном, следующим за согласным. По мнению ряда исследователей, для опознавания согласного большую роль играет переходной участок С—Г, чем Г—С. Поэтому в списке слов, предназначенном для анализа согласных, представлены всевозможные сочетания согласного с последующим гласным. В случае, когда сочетание согласного с гласным принципиально возможно в русском языке, но слова с таким сочетанием не зафиксированы, были выбраны псевдослова. Например, в русском языке не зафиксировано слово с сочетанием [x'a'], хотя оно в принципе возможно. В этом случае в список слов было введено слово «ахяна».

В качестве аудиторов к исследованиям привлекали сотрудников кафедры вычислительной техники и вычислительного центра Харьковского института радиозлектроники: пять мужчин и две женщины, эпизодически десять мужчин и три женщины в возрасте от 20 до 40 лет, естественно пользующихся русской речью и не являющихся профессиональными дикторами. Стиль произношения — естественная разговорная речь.

Для записи речевых сигналов в оперативную память или на внешние запоминающие устройства ЭВМ (пакеты дисков ёмкостью 7,29 Мбайт) использовали микрофон МД-66А. Уровень шумов составлял 80 децибел.

Предварительный анализ речевых сигналов осуществляли с помощью так называемых «динамических портретов», отражающих динамику интенсивности речевых сигналов.

Опишем процедуру получения динамических портретов речевых сигналов. Все значения отсчетов параметрического кода речевого сигнала, полученного на выходе аналого-цифрового преобразователя устройства ввода речевых сигналов в ЕС ЭВМ, на отрезке определенной длительности заменим значением максимального отсчета. Полученный массив максимальных значений пронормируем по амплитуде с фиксированным репером, для каждого максимального значения получим нормирующий множитель, которым воспользуемся для построения динамического



«Динамический портрет» слова «един»: а — фиксированная длина временного интервала; б — длина временного интервала равна длине периода основного тона голоса

портрета отрезка речевого сигнала на АЦПУ ЭВМ (рисунок)

Замена значений отсчетов параметрического кода речевого сигнала на значение максимального отсчета, по нашему мнению, позволяет сохранить форму огибающей интенсивности речевого сигнала. Длина временного отрезка, на котором осуществляется такая замена, определяется целями тех задач, для решения которых привлекается данный динамический портрет. Нами была выбрана фиксированная длина временного отрезка, равная 10 мс, что гарантирует наличие хотя бы одного элементарного сегмента на выбранном отрезке речевого сигнала [6]. Длина временного отрезка может быть и переменной и равняться, в частности, длине периода основного тона голоса. Как показано на рисунке (позиция *а*), замена значений параметрического кода на значение максимального отсчета осуществлялась на фиксированном отрезке, равном 10 мс. Во втором случае (позиция *б*) — на отрезке, длина которого совпадала с длиной периода основного тона голоса. Как видно, отличия между динамическими портретами не существенны. С другой стороны, время, затрачиваемое ЭВМ на выделение периодов основного тона голоса, значительно больше, чем в первом случае, когда замена значений параметрического кода речевого сигнала осуществлялась на отрезке времени фиксированной длины.

Устанавливая определенные значения величины среза $A - A$ (пороговые значения), можно выделить в динамическом портрете характерные части: V_1, V_2, C_1, C_2 (рисунок, позиция *а*)

Части V_1 и V_2 имеют то общее, что линия среза $A - A$ пересекает строки динамического портрета. Различаются же эти части шириной среза. Для V_1 она равна 10 (число строк динамического портрета, через которые проходит линия среза $A - A$), а для V_2 — 17. Акустическим эквивалентом частей V_1 и V_2 в слове «один», изображенном на рисунке, являются энергоемкие локализованные участки, соответствующие звукам «о» и «и».

Аналогично, рассматривая части C_1 и C_2 , мы замечаем, что общим для них является то, что строки динамического портрета остаются ниже линии среза $A - A$. Различаются части C_1 и C_2 тоже шириной среза. Для C_1 она равна 13, а для C_2 — 7. Акустическим эквивалентом этих частей в слове «один» являются участки слова, соответствующие согласным звукам «д» и «н».

Таким образом, осуществляя на определенном уровне срез в динамическом портрете слова, можно выделить его характерные части, т. е. осуществить сегментацию речевого потока на акустически однородные области.

Кроме того, части V_1 и V_2 несут информацию о том, существенно или несущественно возвышается над линией среза часть динамического портрета. Эта информация может быть использована при характеристике ударного слога в слове.

Части C_1 и C_2 позволяют, в свою очередь, получить информацию о том, соответствует ли часть динамического портрета слова под линией среза вокализованному или невокализованному звуку, если оценить, «сильно» или «слабо» заполнена строками часть динамического портрета под линией среза.

Выделение характерных частей в речевом сигнале по его динамическому портрету путем проведения среза осуществляется с использованием принципа преобладания. Срез $A - A$ (рисунок, позиция a) оставляет строку № 36 динамического портрета ниже среза, что привело бы к появлению области V_3 (строки № 36—40). Однако, удовлетворяя принцип по преобладанию, мы имеем одну область V_2 , что согласуется с фонетическим составом слова «один».

Полезным оказывается проведение дополнительных срезов в динамическом портрете слова. Например, срез $B - B$ (рисунок, позиция a) позволяет выявить отрезок речевого сигнала, соответствующий собственно смычке взрывного согласного «д». Это строки № 13—19. Переходные области гласных звуков: № 11, 12, 20—23, 42—43.

Таким образом, анализ динамических портретов отрезков речевых сигналов (слов) методом сечений позволяет, во-первых, выявлять акустически однородные области в речевом сигнале, во-вторых, путем проведения дополнительных срезов, выделять переходные области гласных звуков.

Список литературы: 1. *Эффект сглаживания в слухе* / О. М. Абрамов, А. Я. Дрюченко, С. А. Усенко, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко. — Пробл. бионики, 1977, вып. 19, с. 31—37. 2. *Сапожков М. А., Михайлов В. Г.* Вокодерная связь. — М.: Радио и связь, 1983. — 248 с. 3. *Русская грамматика* / Под ред. Н. Ю. Шведовой. — М.: Наука, 1982. — 783 с. 4. *Матусевич М. И.* Современный русский язык. Фонетика. — М.: Просвещение, 1976. — 288 с. 5. *Елкина В. Н., Юдина Л. С.* Статистика открытых слогов русской речи. — Вычисл. системы, 1964, вып. 14, с. 55—91. 6. *Дрюченко А. Я.* Некоторые вопросы автоматического распознавания речи. — Пробл. бионики, 1981, вып. 26, с. 54—60.

Поступила в редколлегию 06.04.84.

УДК 510.62

Н. В. РЯБОВА

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СУФФИКСАЛЬНОГО
СЛОВООБРАЗОВАНИЯ ОТСУБСТАНТИВНЫХ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫХ
С ОБЩИМ ЗНАЧЕНИЕМ «НОСИТЕЛЬ ПРЕДМЕТНОГО ПРИЗНАКА»**

Опишем один из возможных вариантов построения математической модели внутрикатегориального суффиксального словообразования существительных, имеющих, согласно [1], общее значение «носитель предметного признака». В качестве математического аппарата формального описания используется алгебра

конечных предикатов [2], позволяющая записывать отношения на множестве словообразовательных морфов в виде лингвистических уравнений.

В работе [3] введено понятие текстового отношения L , фрагмента текста Y , переменного вектора смысла фрагмента текста X . Поскольку в данном случае в роли фрагмента текста выступает словообразовательный суффикс (часть слова), будем рассматривать морфологическое отношение $L(X, Y, Z)$, где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ — соответственно наборы семантических (смысловых) и грамматических (морфонологических) переменных, связывающих уравнения, которые описывают рассматриваемый фрагмент текста $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$, с уравнениями, описывающими остальную часть текста («дальний» и «ближний» текст). Таким образом, в роли фрагмента текста выступает словообразовательный суффикс существительного, в роли его смысла — набор грамматических и семантических признаков. С помощью вводимых признаков устанавливается связь между производящей основой и словообразовательным суффиксом, а также между буквами самого суффикса.

В целях конкретизации построения математической модели часть значений грамматических признаков зафиксируем. Это позволит сократить и представить в более компактном виде лингвистические уравнения.

Пусть зафиксированы следующие значения признаков: $\xi_1 = c$ (словообразование), $\xi_2 = c$ (суффиксальный способ словообразования), $\xi_3 = c$ (часть речи производящей основы — существительное), $\xi_4 = c$ (часть речи производного слова — существительное), $\xi_5 = o$ (признак одушевленности со значением «одушевленный»), $\xi_6 = m$ (род производного слова со значением «мужской»). Зафиксировав таким образом признаки, мы тем самым выделили все словообразовательные суффиксы, участвующие в процессах суффиксального внутрикатегориального словообразования одушевленных имен существительных мужского рода.

Введем также переменные семантические признаки и признаки, определяющие влияние производящей основы (грамматические и морфонологические признаки). Необходимо отметить широко распространенную омонимию словообразовательных суффиксов отсубстантивных существительных, наделенных предметным признаком. Как следствие этого явления, имеем большое количество вариантов (морфов) одного суффикса (словообразовательной морфемы), когда выбор конкретного морфа в конечном итоге определяется морфонологическими характеристиками производящей основы. Таковы, например, суффиксы *ан-ин(-ян-ин)* -*чан-ин* (*парижанин, селянин, харьковчанин*), -*чик(-щик)-овщик* (*паркетчик, флейтщик, весовщик*) и т. д.

Перечислим признаки, определяющие влияние производящей основы: z_1 — признак последней буквы основы со значениями всех букв русского алфавита; z_2 — признак предпоследней

буквы основы со значениями всех букв алфавита; z_3 — род производящей основы, со значениями: м — мужской, ж — женский, с — средний $z_3^m \vee z_3^j \vee z_3^c = 1$; z_4 — признак одушевленности производящей основы, со значениями: о — одушевленная, н — неодушевленная $z_4^o \vee z_4^n = 1$; z_5 — признак односложности основы, со значениями: о — односложная, т. е. однослоговая основа, н — нет; z_6 — признак происхождения основы, со значениями: р — русская, и — иностранная основа $z_6^p \vee z_6^i = 1$; z_7 — вид основы, со значениями: т — топонимичная основа, и — имя собственное, о — все остальные виды основ $z_7^t \vee z_7^i \vee z_7^o = 1$; z_8 — признак характеристики основы при опосредованной мотивации, со значениями: г — глагольная характеристика основы, а — адъективная; z_9 — признак твердости (мягкости) последней буквы основы, со значениями: т — твердая, м — мягкая $z_9^t \vee z_9^m = 1$; z_{10} — признак производности основы, со значениями: п — производная основа, н — нет $z_{10}^p \vee z_{10}^n = 1$; z_{11} — признак трансформации основы в процессе словообразования, со значениями: у — основа претерпевает усечение, н — происходит наращение основы, ч — чередование в основе $z_{11}^y \vee z_{11}^n \vee z_{11}^c = 1$.

Введем также систему переменных семантических признаков таким образом, чтобы каждому набору значений признаков можно было поставить в соответствие один словообразовательный суффикс в его конкретной семантической роли. Перечислим эти признаки: x_1 — признак классификации представителей живого мира, со значениями: л — лица, ж — другие представители живого мира (животные, птицы, рыбы и др.) $x_1^l \vee x_1^j = 1$; x_2 — тип характеристики лиц, со значениями: л — личностные характеристики, п — профессионально-функциональные характеристики $x_2^l \vee x_2^p = 1$; x_3 — признак классификации личностных характеристик, со значениями: т — топонимические характеристики (раса, национальность, место жительства или нахождения), в — характерные особенности внешнего облика $x_3^t \vee x_3^v = 1$; x_4 — признак классификации профессионально-функциональных характеристик, со значениями: о — характеристика по объекту деятельности лица (*сапожник, паркетчик, флейтист*), м — характеристика по месту деятельности лица (*тюремщик, дворник, типографщик*), с — характеристика по сфере деятельности лица (*композитор, навигатор, революционер*), к — характеристика по характерному свойству, качеству (*сплетник, завистник, причудник*), д — характеристика лица по выполняемому действию (*помощник, завистник, взяточник*), $x_4^o \vee x_4^m \vee x_4^c \vee x_4^k \vee x_4^d = 1$; x_5 — признак характеристики объекта деятельности лица, со значениями: д — лицо, действующее с помощью предмета, названного в основе (*лебедчик, бетонщик, гитарист*), п — лицо, производящее то, что названо в основе, или лицо, конечным продуктом деятельности которого является предмет,

названный в основе (*виноградарь, бочар, сапожник*) $x_5^d \vee x_5^n = 1$; x_6 — признак стилевой характеристики производного слова, со значениями: к — книжный, с — специальный, р — разговорный, о — областной, у — устаревший, п — просторечье.

Следует отметить, что при разработке системы семантических признаков использовались данные традиционной грамматики [1], а также новейшие разработки в области прикладной лингвистики [4, 5]. Кроме того, мы руководствовались следующими принципами: семантические признаки вводились как классы эквивалентности семантических оттенков. При объединении выявленных оттенков в признаки использовался метод логического противопоставления, т. е. в один признак могут компоноваться только те оттенки, которые не встречаются одновременно ни в одной текстовой ситуации. При выявлении оттенков использовалась конструкция, называемая нами «*пробный текст*», в которой устанавливается однозначная зависимость между производящей основой X , словообразовательным суффиксом Y и производным словом XU .

Приведем примеры выявления оттенков с помощью пробных текстов (ПТ). Оттенок «характеристика по месту деятельности лица» выявляется с помощью ПТ вида « XU обычно находится при X » (*штабник, дворник, тюремщик*). Оттенок «характеристика лица по его свойству, качеству» выявляется с помощью ПТ « XU обладает характерным качеством X ». Оттенок «характеристика лица, действующего с помощью предмета», выявляется в ПТ « XU действует с помощью X » (*завистник, причудник; лебедчик, паркетчик, гитарист*).

Задача состоит в математическом описании отношения $L(X, Y, Z)$. В силу принципа однозначности [3] это отношение задает функцию, которую возможно описать в явном виде: $y_i^j = F_\sigma(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}, z_{11})$, где $\sigma \in \{a, e, и, o, я, в, к, н, р, с, т, ц, ч, ш, ь\}$ y_i — буквы суффикса. Математическое описание модели суффиксального словообразования сводится к формированию суффикса $Y = y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ (максимальное количество букв суффикса в данном случае равно 6) в зависимости от набора грамматических и семантических признаков.

Все рассматриваемые словообразовательные суффиксы целесообразно представить в виде конструкции, называемой нами *лингвистическим регистром суффиксов* (таблица). Суффиксы представляются в регистре в сегментированной форме. Для одного сегмента выделяется три позиции s_1, s_2, s_3 . Структура сегмента (гласная), (согласная), (пробел или «ь») обусловлена тем, что подавляющее большинство суффиксов имеет такую структуру или легко членятся на сегменты такого типа.

Кроме перечисленных выше признаков введем также переменную t — номер сегмента в регистре, со значениями 1, 2, 3: $t^1 \vee$

t^1			t^2			t^3		
s_1	s_2	s_3	s_1	s_2	s_3	s_1	s_2	s_3
[	[	[	[	н	[	и	к	[
[	[	[	[	ч	[	и	к	[
[	[	[	[	щ	[	и	к	[
о	в	[	[	щ	[	и	к	[
[	[	[	и	с	[	[	т	[
[	[	[	[	[	[	а	ч	[
[	[	[	[	[	[	и	ч	[
о	в	[	[	[	[	и	ч	[
[	[	[	а	н	[	и	ч	[
[	[	[	я	н	[	и	н	[
[	ч	[	я	н	[	и	н	[
н	т	[	я	н	[	и	н	[
[	[	[	е	[	[	и	н	[
[	в	[	а	[	[	е	ц	[
[	[	[	[	[	[	е	ц	[
[	[	[	[	[	[	а	ц	[
[	[	[	[	[	[	а	н	[
[	[	[	[	[	[	а	р	[
[	[	[	а	т	[	я	р	[
[	[	[	и	т	[	о	р	[
[	[	[	[	т	[[[[

$\vee t^2 \vee t^3 = 1$. Для удобства описания введем также именные предикаты: ГЛ (z), принимающий значение 1 только тогда, когда z — гласная буква, и равный нулю в остальных случаях; СГ (z), принимающий значение 1 для всех согласных букв и равный нулю в остальных случаях.

Рассмотрим первую s_1 , вторую s_2 и третью s_3 буквы каждого сегмента. Области значений этих переменных задаются уравнениями

$$(s_1^0 \vee s_1^h \vee s_1^-) t^1 \vee (s_1^a \vee s_1^p \vee s_1^h \vee s_1^c \vee s_1^-) t_2 \vee (s_1^a \vee s_1^p \vee s_1^c \vee s_1^h \vee s_1^0 \vee s_2^-) t^3 = 1, \quad (1)$$

$$(s_2^- \vee s_2^b \vee s_2^q \vee s_2^r) t^1 \vee (s_2^h \vee s_2^q \vee s_2^m \vee s_2^c \vee s_2^r \vee s_2^-) t^2 \vee (s_2^k \vee s_2^q \vee s_2^h \vee s_2^p \vee s_2^h \vee s_2^r) t^3 = 1, \quad (2)$$

$$(s_3^- t^1 \vee s_3^- t^2 \vee (s_3^- \vee s_3^b)) t^3 = 1. \quad (3)$$

Запишем в явном виде уравнения для букв каждого сегмента, а затем, с учетом декомпозиции модели, легко можно записать общие уравнения для всего регистра. Рассмотрим первый сегмент. Первая буква s_1 принимает значения $\{0, и, -\}$. s_1 принимает значение 0 при образовании наименований лиц с типом

характеристики «личностный» (ЛХ) от именных основ (*Иванович*), а также при образовании наименований лиц с типом характеристики «профессионально-функциональный» (ПФХ) от односложных основ, или русских основ, для которых свойственна интерфиксация или интерференция в процессе словообразования (*весовщик, кайловщик*):

$$s_1^0 = x_1^n (x_2^n x_3^n z_7^n \vee x_2^n (z_5^0 \vee z_{11}^n)) = p_1. \quad (4)$$

Если образуется наименование лица с ЛХ от односложной основы-топонима или с ПФХ и характеристикой по месту нахождения лица, то первая буква первого сегмента принимает значение и (*островитянин, псковитянин*):

$$s_1^n = x_1^n (x_2^n x_3^n z_5^0 z_7^n \vee x_2^n x_4^n) = p_2. \quad (5)$$

В остальных случаях первая буква сегмента отсутствует, принимает значение —:

$$s_1^- = x_1^n (x_2^n (z_7^n (z_1^c z_2^c \vee x_6^n) \vee z_7^n x_3^n) = p_3. \quad (6)$$

Для второй буквы первого сегмента область определения {в, ч, т, —}. Условия появления на втором месте буквы «в» те же, что и для s_1^0 . Поэтому уравнение будет иметь вид $s_2^0 = p_1$ (7).

Рассмотрим условия появления s_2^- . Это становится возможным, когда от основ-топонимов образуются названия жителей, при условии, что основа неодносложная, заканчивающаяся на -ск-, -св-, -ав- (*минчанин, харьковчанин, полтавчанин*). Запишем уравнение:

$$s_2^c = x_1^n x_2^n x_3^n z_5^n (z_2^k z_1^c \vee z_2^0 z_1^n \vee z_2^n z_1^n) = p_4. \quad (8)$$

Условия появления на втором месте т такие же, как и для s_1^n . Поэтому уравнение запишется так: $s_2^t = p_2$ (9). На втором месте появляется — при тех же условиях, что и на первом месте первого сегмента: $s_2^- = p_3$ (10). Третья буква первого сегмента всегда принимает значение —: $s_3 = 1$.

Рассмотрим второй сегмент. Для первой буквы область определения $s_1 \in \{и, а, я, е, —\}$. На первом месте появляется е при образовании лиц с ПФХ, мотивированных отглагольными существительными на -ение (*сопротивление, управление*):

$$s_1^e = x_1^n x_2^n z_8^n z_{11}^y = p_5. \quad (11)$$

s_1 принимает значение и, если образуются названия лиц с ПФХ и характеризующиеся по объекту деятельности лица (*пианист, артиллерист*), а также при образовании от иностранных основ на -ация/-иция (оканчивающихся на мягкую согласную) наименований лиц, характеризующихся по сфере деятельности (*экспедитор*). Уравнение будет иметь вид

$$s_1^и = x_1^n x_2^n (x_4^0 x_5^n \vee x_4^c) \vee x_1^n x_2^n x_4^c z_8^n z_{11}^y z_9^n. \quad (12)$$

Обозначим

$$p_6 = x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_4^0 x_5^{\pi} \vee x_4^c), \quad p_7 = x_1^{\pi} x_2^{\pi} x_4^c z_6^{\pi} z_1^{\pi} (z_9^{\pi} \vee z_9^{\tau}).$$

s_1 принимает значение а, если образуются названия жителей от основ-топонимов (выполняется условие p_4), или названия лиц с ПФХ, от иностранных основ (выполняется условие p_7), оканчивающихся на твердую согласную (*полтавчанин, комбинатор*): $s_1^{\pi} = p_4 \vee p_7 z_9^{\tau}$ (13). s_1 принимает значение я, если выполняется условие p_2 (*островитянин*): $s_1^{\pi} = p_2$ (14). На первом месте второго сегмента будет $_$, если образуется наименование лица с ПФХ, характеризующееся по объекту его деятельности или месту, или характерному свойству, качеству, действию (*сапожник, паркетчик, путник, фокусник*); если образуется название лица с личностной характеристикой и стилевым оттенком «просторечье»:

$$s_1^{_} = x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_4^0 \vee x_4^{\pi} \vee x_4^{\pi} \vee x_4^{\pi}) z_5^{\pi} z_6^{\pi} \vee x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_6^{\pi} \vee x_6^{\pi}). \quad (15)$$

Рассмотрим вторую букву второго сегмента, область ее определения $s_2 \in \{н, ч, т, с, ш, _ \}$. s_2 принимает значение н, если производное слово имеет семантику «лицо с ПФХ, характеризующееся по объекту его деятельности, месту либо характерному свойству или действию» (*помощник, путник, завистник*). Запишем уравнение: $x_1^{\pi} x_2^{\pi} x_4^0 = p_8 = s_2^{\pi}$ (16). Если s_2 принимает значение ш, то образуется название лица с ПФХ, характеризующееся по объекту деятельности либо месту и имеющее разговорную стилевую характеристику: $x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_4^0 \vee x_4^{\pi}) x_6^{\pi} = s_2^{\pi}$ (17). s_2 принимает значение с при тех же условиях, что и $s_1^{_}$ в этом же сегменте. Поэтому уравнение имеет вид $s_2^c = p_6, s_2^{\tau} = p_7$ (18). В остальных случаях s_2 принимает значение $_$:

$$s_2^{_} = x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_6^{\pi} \vee x_6^{\pi}) x_3^{\pi} \vee p_8; \quad p_8 = x_3^{\tau} z_7^{\tau} (z_1^c z_2^c \vee z_1^0 z_2^0). \quad (19)$$

Третья буква второго сегмента всегда $_1 s_2 _1$.

Рассмотрим третий сегмент. Первая буква s_1 имеет область определения $\{и, а, я, е, о, _ \}$. Уравнения запишем с учетом полученных условий появления определенных букв регистра. На первом месте будет и, если выполняется одно из условий p_2, p_4, p_8 , если от именных основ образуются названия лиц с ЛХ (*Иванович*) либо при образовании наименований лиц с ПФХ, характеризующихся по объекту деятельности (*сапожник*), характерному действию или свойству:

$$s_3^{\pi} = p_2 \vee p_4 \vee p_8 \vee x_1^{\pi} x_2^{\pi} z_7^{\pi} \vee x_1^{\pi} x_2^{\pi} (x_4^0 \vee x_4^{\pi} \vee x_4^{\pi}). \quad (20)$$

s_1 принимает значение а, если производное слово имеет семантику «лицо с ЛХ, характеризующей особенности внешнего облика и несущее просторечную стилевую характеристику (*брюхач*); либо лицо с ПФХ, характеризующееся по объекту деятельности, от основ, оканчивающихся на к (*скрипка — скрипач*)

и подвергающихся усечению; либо, при значении признака x_4^0 , лицо, производящее то, что названо в основе (*виноградарь*), либо лицо по месту деятельности (*свинарь*):

$$s_1^a = p_9 \vee p_{10} \vee x_1^l x_2^l x_4^0 z_{11}^y, \quad (21)$$

где

$$p_9 = x_1^l x_2^l x_3^p x_6^p, \quad p_{10} = x_1^l x_2^l (x_4^0 x_5^p \vee x_4^m).$$

s_1^a имеет место, если образуется наименование лица с ПФХ, характеризующее лицо по объекту деятельности (*гусярь, столяр*), от основ, оканчивающихся на мягкую согласную:

$$s_1^a = x_1^l x_2^l x_4^m z_9^m. \quad (22)$$

На первом месте будет е, если производное слово имеет семантику «лицо с ЛХ, образованное от основ-топонимов и обозначающее жителя того места, которое названо в основе (*ленинградец*)», а также если выполняется условие p_5 :

$$s_1^e = x_1^l x_2^l x_3^t z_7^t \vee p_5. \quad (23)$$

s_1^o имеет место при выполнении условия p_7 (*композитор*):

$$s_1^o = p_7 \quad (24), \quad s_1^- = p_6. \quad (25)$$

Рассмотрим вторую букву третьего сегмента $s_2 \in \{к, т, ч, н, ц, р\}$. s_2^k имеем, когда образуется название лица с ПФХ, характеризующееся по объекту деятельности, либо месту, либо характерному действию или свойству:

$$s_2^k = x_1^l x_2^l (x_4^o \vee x_4^m \vee x_4^l) z_6^p. \quad (26)$$

s_2^t имеет место при выполнении условия p_6 : $s_2^t = p_6$ (27). Если выполняется условие p_8 или p_9 , то на втором месте будет ч: $s_2^c = p_8 \vee p_9$ (28). s_2^h имеет место при выполнении одного из условий p_2 или p_4 : $s_2^h = p_2 \vee p_4$ (29). На втором месте третьего сегмента будет ц, если выполняется условие p_4 или p_{11} : $s_2^z = p_4 \vee p_{11}$ (30). s_2 принимает значение р, когда выполняется уравнение $s_2^o = p_7 \vee p_{10}$ (31).

Для третьей буквы третьего сегмента область определения $s_3 \in \{_, ь\}$. Уравнения запишутся так:

$$s_3^b = p_{11}, \quad s_3^- \vee s_3^b = 1. \quad (32)$$

Список литературы: 1. *Русская грамматика*.— М.: Наука, 1980.— 783 с. 2. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов.— АСУ и приборы автоматики, 1979, вып. 50, с. 14—20. 3. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О математическом описании естественного языка.— Пробл. бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13. 4. *Кубрякова Е. С.* Типы языковых значений.— М.: Наука, 1981.— 200 с. 5. *Милославский И. Г.* Вопросы словообразовательного синтеза.— М.: Изд-во Моск. ун-та.— 246 с.

Поступила в редколлегию 02.03.84.

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОЯЗЫКОВЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ В СИСТЕМАХ ОБЩЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ЭВМ.

СООБЩЕНИЕ 2

В сообщении [1] описаны основные теоретические положения, касающиеся оригинального подхода к организации анализа входной информации в системах естественного языкового общения, основанного на взаимодействии процедур различных видов анализа, управляемых метапроцедурами семантического анализа (СА). Процесс анализа было предложено разбить на ряд последовательных этапов в соответствии с валентностью входного естественного языкового высказывания (ЕЯВ), представляющей собой иерархическую структуру, построенную на основе множества валентностей словоформ [1] данного ЕЯВ. Этот процесс на каждом этапе рассматривается на трех уровнях собственно анализа: морфолого-синтаксическом (МСУ), синтактико-семантическом (ССУ), семантико-прагматическом (СПУ), которым предшествует нулевой уровень анализа (НУ), а также на трех уровнях понимания: информационно-синтаксическом (ИСУ), информационно-семантическом (ИСМУ), информационно-прагматическом (ИПУ) [1]. Цель данной организации анализа — попытка быстро решить конечную задачу анализа, т. е. выбрать необходимую реакцию системы на входное ЕЯВ, при возможном досрочном завершении процесса получения R -представления [2] для данного ЕЯВ.

Опишем работу метапроцедур СА на различных уровнях анализа входного ЕЯВ, использующих аппарат валентностей, процедуры вывода и формирования умозаключений, различного рода семантико-прагматические знания. Материал будет излагаться параллельно с разбором конкретных примеров.

Единицей R -представления в рассматриваемой системе является синтактико-семантическое отношение (ССО) [2]. Общий его вид

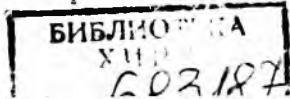
$$M_1: \text{МСИ}_2 (<\text{Словоформа 1}>) = (<\text{Словоформа 2}>),$$

где Словоформа 1 и Словоформа 2 — словоформы ЕЯВ, образующие синтагматическую пару; МСИ_2 — морфолого-синтаксическая информация второй словоформы; M_1 — метка ССО; $<>$ — признак нормы словоформы.

Например, ЕЯВ «Петя читает книгу» представляется в виде ССО следующим образом: M_1 : кто, он (читать) = (Петя); M_2 : что-делать (Петя) = (читать); M_3 : что-в, она (читать) = (книга).

Введем понятие обратной валентности словоформы.

Определение I. Обратной валентностью согласования



(ОВС) данной словоформы будем называть множество наборов МСИ, с которыми грамматически согласуется МСИ данной словоформы.

О п р е д е л е н и е 2. Обратной морфолого-синтаксической валентностью (ОМСВ) данной словоформы будем называть множество наборов МСИ, соответствующих словоформам, входящим слева от знака равенства в те ССО, в которые данная словоформа входит справа от знака равенства.

О п р е д е л е н и е 3. Обратной синтактико-семантической валентностью (ОССВ) данной словоформы будем называть множество словоформ, которые входят слева от знака равенства в те ССО, где данная словоформа расположена справа от знака равенства.

О п р е д е л е н и е 4. Обратной семантико-прагматической валентностью (ОСПВ) данной словоформы будем называть подмножество ОССВ, полученное из ССО, которые участвуют в фактах базы знаний, имеющих место в данный момент времени.

О п р е д е л е н и е 5. Обратной семантико-информационной валентностью (ОСИВ) данной словоформы будем называть подмножество ОССВ, полученное из ССО, относящихся к предметной области, которая является темой данного диалога.

О п р е д е л е н и е 6. Обратной прагматико-информационной валентностью данной словоформы будем называть множество словоформ, полученное в результате пересечения ОСПВ и ОСИВ. Обратную прагматико-информационную валентность (ОПИВ) будем также называть «обращенным» смыслом данной словоформы.

Наряду с описанными в предыдущем сообщении [1] валентностью согласования (ВС), морфолого-синтаксической валентностью (МСВ), синтактико-семантической валентностью (ССВ), семантико-прагматической валентностью (СПВ), семантико-информационной валентностью (СИВ) и прагматико-информационной валентностью (ПИВ) данной словоформы обратные валентности используются при анализе входного ЕЯВ.

Рассмотрим некоторые примеры.

1. ЕЯВ «Главный инженер проводит планерку» может быть представлена в виде ССО однозначно с использованием только ВС и ОВС: М1: кто, он (водить, про) = (инженер); М2: что-делать (инженер) = (водить, про); М3: что-в, она (водить, про) = (планерка); М4: какой (инженер) = (главный). Получив МСИ для словоформ с использованием ТВ-структуры [2], система сможет однозначно проанализировать на уровне валентностей согласования даже такой нонсенс: «Варкалось. Хливкие шорьки пырялись по наве. И хрюкотали зелюки как мюмзики в мове» (Л. Кэрролл «Алиса в зазеркалье»).

2. В ЕЯВ «Вано съел шашлык» на уровне ВС нельзя однозначно выделить подлежащее. Задача решается на МСУ, где будет использована МСВ для словоформы «съел»: {кто; что-в...}.

3. Однозначно определить подлежащее в ЕЯВ «Завод получил новый станок» можно только на ССУ, используя ССВ словоформы «получил».

4. Пусть системе известно: «Слесарь держит в руках напильник». Чтобы теперь при анализе следующего ЕЯВ: «Слесарь обрабатывает деталь» правильно сделать умозаключение, что «слесарь обрабатывает деталь напильником», необходимо привлечь семантико-прагматическую информацию: СПВ, использующую семантико-прагматическое отношение «условие» действия «обрабатывать деталь» [2].

При обработке анафорических ссылок в следующем фрагменте текста: «Волк напал на охотника. Он его застрелил», задача однозначно решается также с помощью СПВ, использующей условие действия «застрелить».

5. В случае анализа ЕЯВ «К завтрашнему дню жених попросил наряд», чтобы сделать умозаключение, где был спрошен наряд: у бригадира на работу, или в ателье мод, необходимо сначала определить предметную область, к которой относится ЕЯВ, используя словоформу «жених», а затем применить СИВ, соответствующую данной предметной области.

6. При анализе фрагмента текста «Писатель просматривал за столом текст рукописи. Он его отшлифовал» для разрешения анафорической ссылки: «его — стол» или «его — текст» требуются и знания о конкретной ситуации, и знания о предметной области. Поэтому в данном случае будет использована ПИВ.

Рассмотрим примеры простейших умозаключений [3].

1. Пусть системе известно: «Петя читает книгу». Пусть теперь на вход системы поступает ЕЯВ «Петя читает быстро». Полученный в результате анализа данного ЕЯВ факт не имеет смысла заносить целиком в память системы. Вместо этого процедура формирования умозаключений находит в базе знаний факт: «Петя читает книгу» и дописывает к нему ССО из анализируемого факта: как (читать) = (быстро). В результате работы процедуры в базе знаний системы будет храниться факт: «Петя читает книгу быстро».

2. Пусть системе известно: «Петя имеет книгу». На вход поступает ЕЯВ «Петя читает». Чтобы ответить на вопрос: «Что читает Петя?» процедура формирования умозаключений использует СПВ словоформы «читать», учитывающую проверку возможности выполнения данного действия в текущей ситуации.

Рассмотрим некоторые правила извлечения из базы знаний и работы с МСВ и ССВ. При извлечении из базы знаний системы МСВ необходимо учитывать взаимосвязь элементов валентности, поскольку возможны случаи, когда один элемент с необходимостью влечет другой. Другими словами, валентность — это не просто прямое объединение МСИ, а объединение с учетом связей МСИ в фактах базы знаний. Например, если в базе знаний содержатся факты: «Маша любит Васю; Петя любит Лену»,

то валентность «любить» не равна множеству: {кто, она; кого он; кто, он; кого, она}, а равна объединению в два различных множества пар МСИ, принадлежащих разным фактам: {кто, она кого, он} и {кто, он; кого, она}. Для выяснения того, в каких случаях при извлечении МСВ из базы знаний необходимо разбивать множество МСИ по фактам, предназначено

Правило 1. Если в наборе валентных МСИ для данной словоформы имеются противоположные пары вопросительных слов (кто — что, кому — чему и т. д.) или одному и тому же вопросительному слову соответствуют различные местоимения (кто, он — кто, она; кому, они — кому, оно и т. п.), то необходимо сначала произвести разбиение данного набора МСИ по следовательно по каждой из этих противоположностей, объединяя МСИ соответствующих фактов и получая два или более множества МСИ. Теперь, отбросив из этих множеств те элементы, по которым осуществлялось разбиение, находится симметрическая разность данных множеств. Если эта разность содержит противоположные МСИ, принадлежащие различным исходным множествам, то эти множества являются разбиением валентности данной словоформы по данной противоположности. Если эта разность ни для одной противоположности не будет содержать указанных МСИ, то валентность данного глагола можно брать как простое объединение валентных МСИ.

Правило 2. Если в наборе валентных МСИ для некоторого глагола имеются МСИ класса: «что-дела...», то МСВ представляется в виде двух множеств M_1 и M_2 , где M_1 — набор валентных МСИ из всех фактов, содержащих МСИ указанного класса и участвующих в формировании валентности данного глагола, а M_2 — набор оставшихся валентных МСИ. К M_2 должно быть применено правило 1.

На ССУ анализа разрешаются неоднозначности, возникшие на МСУ, путем проверки допустимости на ССУ пар, полученных на МСУ. Анализ на ССУ производится с использованием ССВ по определенным правилам в несколько этапов. Переход к каждому следующему этапу происходит в случае неудачи на предыдущем. Каждое правило имеет свой коэффициент, который затем присваивается паре, если она удовлетворяет изложенному в правиле требованию. Чем выше коэффициент, тем точнее можно сказать, что данная пара семантически верна на ССУ.

Правило 3 (коэффициент $K=10$). Если в базе знаний есть ССО, в точности соответствующее данной паре, то последняя считается допустимой на ССУ.

Пусть общий вид некоторого ССО базы знаний в несколько упрощенной форме будет выглядеть: $M(X_1) = (X_2)$, где M — имя ССО, X_1 и X_2 — словоформы.

Правило 4. Если для пары словоформ Y_1, Y_2 имеет место $X_2 = Y_2$
и а) Y_1 — синоним X_1 ($K=9$); или

- б) У1 — элемент класса X1 ($K=6$); или
- в) X1, У1 — элементы одного класса ($K=3$),

то пара считается допустимой на ССУ.

П р а в и л о 5. Если для пары словоформ У1, У2 имеет место:

$$X1 = Y1$$

- и а) У2 — синоним Х2 ($K=8$); или
- б) У2 — элемент класса Х2 ($K=5$); или
- в) Х2, У2 — элементы одного класса ($K=2$),

причем Х2 — не прилагательное, то пара считается допустимой на ССУ.

П р а в и л о 6. Если для пары словоформ У1, У2 имеет место

- а) У1 — синоним Х1 ($K/2=3,5$); или
- б) У1 — элемент класса Х1 ($K/2=2$); или
- в) Х1, У1 — элементы одного класса ($K/2=0,5$)
- и г) У2 — синоним Х2 ($K/2=3,5$); или
- д) У2 — элемент класса Х2 ($K/2=2$); или
- е) Х2, У2 — элементы одного класса ($K/2=0,5$),

причем Х1 — не глагол, а Х2 — не прилагательное, то пара считается допустимой на ССУ.

Последние три правила для случаев, когда а) Х1 — элемент класса У1; б) Х2 — элемент класса У2 имеют коэффициент 0,5.

В случае, если ни одно из правил не подходит, $K=0$.

Как уже говорилось, на основе прямых и обратных валентностей осуществляется объединение словоформ входного ЕЯВ в ССО. Правило объединения словоформ в ССО с использованием ВС или МСВ имеет следующий вид.

П р а в и л о 7. Если для двух словоформ, принадлежащих входному ЕЯВ, выполняются следующие условия: а) некоторый вариант МСИ второй словоформы принадлежит МСВ (ВС) первой словоформы; б) МСИ первой словоформы принадлежит ОМСВ (ОВС) второй словоформы, причем обратные валентности берутся по тому же набору МСИ, по которому были взяты прямые; в) ни у одной из оставшихся словоформ входного ЕЯВ не существует такого варианта МСИ, который бы принадлежал ОМСВ (ОВС) второй словоформы, то данная пара словоформ может быть в соответствующем порядке объединена в ССО, причем именем этого ССО будет являться тот вариант МСИ второй словоформы, который удовлетворяет условию а.

В случае выполнения только условий а и б данного правила сохраняется многозначность, которая может быть разрешена на более высоком уровне анализа.

Правило объединения словоформ в ССО с использованием ССВ, СПВ, СИВ, ПИВ имеет следующий вид.

П р а в и л о 8. Если для пары словоформ входного ЕЯВ, которая является допустимой на предыдущем уровне анализа по условиям а и б, выполняются следующие условия: а) нормализованная словоформа, соответствующая второй словоформе данной пары, принадлежит валентности первой словоформы по

допустимому на МСУ варианту МСИ этой словоформы; б) нормализованная словоформа, соответствующая первой словоформе данной пары, принадлежит обратной валентности второй словоформы по допустимому на МСУ варианту МСИ этой словоформы; в) ни одна из оставшихся словоформ входного ЕЯВ, согласующихся со второй словоформой рассматриваемой пары на предыдущем уровне анализа, не имеет нормы, принадлежащей обратной валентности второй словоформы по допустимому на МСУ варианту МСИ этой словоформы, то данная пара словоформ может быть в соответствующем порядке объединена в ССО, причем именем этого ССО будет являться тот вариант МСИ второй словоформы, по которому была выявлена допустимость рассматриваемой пары на предыдущем уровне анализа.

Для того чтобы полученное в результате анализа входного ЕЯВ внутреннее представление было удобно для вопросно-ответного режима и позволяло семантически однозначно синтезировать выходные ЕЯВ, применяется так называемая операция свертки. Правило использования операции свертки имеет следующий вид.

П р а в и л о 9. Если в результате анализа входного ЕЯВ некоторая словоформа, не являющаяся сказуемым ЕЯВ, входит слева в два и более ССО, то эти ССО объединяются меткой ситуации, после чего данная метка записывается в правую часть тех ССО, где исходная словоформа располагалась справа. При этом образуются новые ССО входного ЕЯВ, а операция их получения называется операцией свертки.

Например, результатом анализа ЕЯВ «Веселый голубоглазый мальчик в белой сатиновой рубашке быстро бежал по мягкой росистой траве» будет следующий набор ССО:

- М1: КТО, ОН (БЕЖАТЬ) = (МАЛЬЧИК)
- М2: ЧТО-ДЕЛАТЬ (МАЛЬЧИК) = (БЕЖАТЬ)
- М3: КАК (БЕЖАТЬ) = (БЫСТРО)
- М4: ГДЕ, ОНА, ПО (БЕЖАТЬ) = (ТРАВА)
- М5: КАКОЙ (МАЛЬЧИК) = (ВЕСЕЛЫЙ)
- М6: КАКОЙ (МАЛЬЧИК) = (ГОЛУБОГЛАЗЫЙ)
- М7: ЧЕМ, ОНА, В (МАЛЬЧИК) = (РУБАШКА)
- М8: КАКОЙ (РУБАШКА) = (БЕЛЫЙ)
- М9: КАКОЙ (РУБАШКА) = (САТИНОВЫЙ)
- М10: КАКОЙ (ТРАВА) = (МЯГКИЙ)
- М11: КАКОЙ (ТРАВА) = (РОСИСТЫЙ)

В результате применения к приведенному набору ССО операции свертки получаем следующий результат:

- МН1: КТО, ОН = (МАЛЬЧИК)
- МН2: ГДЕ, ОНА, ПО = (ТРАВА)
- МН3: ЧЕМ, ОНА, В = (РУБАШКА)
- СЛСЧ1: МН1 и М5 и М6
- СЛСЧ2: МН2 и М10 и М11
- СЛСЧ3: МН3 и М8 и М9
- СЛСЧ4: СЛСЧ1 и М12

М12: ЧЕМ, ОНА, В (МАЛЬЧИК) = (СЛСЧ3)

М13: КТО, ОН, (БЕЖАТЬ) = (СЛСЧ4)

М14: ГДЕ, ОНА, ПО (БЕЖАТЬ) = (СЛСЧ2)

Ф1: М13 и М2 и М3 и М14,

где М — метка ССО; МН — метка неполного ССО; СЛСЧ — метка словосочетания; Ф — метка факта.

Рассмотрим процесс анализа входных ЕЯВ на конкретном примере. Пусть на вход системы, в которой уже имеется некоторый набор знаний, поступило ЕЯВ «Кивнул головой заведующий лабораторией заведующей столовой». Анализ начинается с того, что каждой словоформе ЕЯВ ставятся в соответствие допустимые варианты МСИ, включающей в себя вопрос, на который отвечает данная словоформа, местоимение, соответствующее норме словоформы, предлог, относящийся к данной словоформе. Для приведенного примера имеем: МСИ1 (кивнул) = {что-сделал}; МСИ2 (головой) = {чем, она}; МСИ3 (заведующий) = {кто, он}; МСИ4 (лабораторией) = {чем, она}; МСИ5 (заведующей) = {кого, она; кому, она; кем, она}; МСИ6 (столовой) = {чего, она; чему, она; чем, она}. Теперь система приступает к первому этапу анализа ЕЯВ. Главные члены ЕЯВ выбирают однозначно уже на МСУ и для них формируются ССО.

М1: КТО, ОН (КИВНУТЬ) = (ЗАВЕДУЮЩИЙ)

М2: ЧТО-СДЕЛАЛ (ЗАВЕДУЮЩИЙ) = (КИВНУТЬ)

На МСУ второго этапа из входного ЕЯВ выбираются словоформы, кроме подлежащего, которые согласуются со сказуемым на уровне МСИ. Возможные согласования: а) МСИ1 — МСИ2; б) МСИ1 — МСИ4; в) МСИ1 — МСИ5; г) МСИ1 — МСИ6. Возникла неоднозначность по вопросу «чем (кем)». Осуществляется переход к ССУ анализа. С помощью валентности глагола «кивнуть» минимизируется МСИ: из МСИ5 отбрасывается набор «кого, она» и «кем, она», а из МСИ6 — «чего, она». На ССУ анализа проверяется допустимость пар: «кивнул — головой», «кивнул — лабораторией», «кивнул — заведующей» и «кивнул — столовой». Допустимыми являются только первая и третья пары, для которых составляются ССО

М3: ЧЕМ, ОНА (КИВНУТЬ) = (ГОЛОВА)

М4: КОМУ, ОНА (КИВНУТЬ) = (ЗАВЕДУЮЩИЙ)

На третьем этапе анализа находятся возможные согласования подлежащего с еще не задействованными в ССО словоформами ЕЯВ: а) МСИ3 — МСИ4; б) МСИ3 — МСИ6. Снова неоднозначность, которая разрешается по правилу «соседства» [2]. Имеем ССО

М5: ЧЕМ, ОНА (ЗАВЕДУЮЩИЙ) = (ЛАБОРАТОРИЯ)

На последнем этапе находится согласование для дополнения «заведующей», которое единственно: МСИ5 — МСИ6. Имеем ССО

М6: ЧЕМ, ОНА (ЗАВЕДУЮЩИЙ) = (СТОЛОВАЯ)

Легко видеть, что из приведенного набора ССО помимо исходного ЕЯВ можно синтезировать ЕЯВ «Заведующий столовой кивнул заведующей лабораторией». Чтобы не допускать подобных неоднозначностей, необходимо произвести операцию свертки по следующему правилу.

П р а в и л о 10. Если две различные словоформы некоторого ЕЯВ имеют одну и ту же норму, которая в результате анализа данного ЕЯВ оказывается в левой части двух различных ССО, имеющих одно и то же имя, то относительно этих словоформ необходимо произвести операцию свертки, которая осуществляется аналогично предыдущему правилу.

Для рассматриваемого примера в результате операции свертки имеем:

МН1: КТО. ОН = (ЗАВЕДУЮЩИЙ)
МН2: КТО. ОНА = (ЗАВЕДУЮЩИЙ)
СЛСЧ1: МН1 и М5
СЛСЧ2: МН2 и М6
М7: КТО. ОН (КИВНУТЬ) = (СЛСЧ1)
М8: ЧТО-СДЕЛАЛ (СЛСЧ1) = (КИВНУТЬ)
М9: КОМУ. ОНА (КИВНУТЬ) = (СЛСЧ2)
Ф1: М7 и М8 и М9

Таким образом, приведенная организация анализа предполагает немедленное разрешение возникающих неоднозначностей и кроме этого подготавливает всю необходимую информацию для осуществления семантически однозначного синтеза выходных ЕЯВ.

Список литературы: 1. Терзиян В. Я. Принципы организации анализа естественных языковых высказываний в системах общения пользователей с ЭВМ. *Сообщение I*. — Пробл. бионики, 1984, вып. 34, с. 47—51. 2. Ловицкий В. А. Диалоговая естественная языковая система принятия решений — Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. — 110 с. 3. Терзиян В. Я. Вывод умозаключений из естественных языковых высказываний. — В кн.: Проблемно-ориентированные диалоговые комплексы: Тез. докл. Кишинев, 1983, с. 102—104.

Поступила в редколлегию 02.04.84.

УДК 510. 62

Т. Г. КАЛЕКИНА

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ ЗВУКОВЫХ СОЧЕТАНИЙ

Современный подход к автоматическому пониманию речи заключается в привлечении лингвистической информации для полного распознавания речевого сообщения. Аналогично тому, как человек использует в естественном речевом общении свое знание языка, системам автоматического понимания речи необхо-

дима лингвистическая информация. Автоматическая проверка на сочетаемость соседних звуков требуется как в задачах анализа речи, после автоматического распознавания входного акустического сигнала, так и в задачах синтеза речи, после автоматического перехода от орфографического представления текста к фонетическому, для коррекции ошибок и устранения неопределенностей.

Чтобы решить эту задачу, необходимо располагать уравнениями, математически описывающими запреты звуковых сочетаний, которые накладывает фонетическая система русского языка [1]. Решая эти уравнения, вычислительная машина сможет определить ошибки и неопределенности акустического анализа и фонетического моделирования. Настоящая статья посвящена построению уравнений для звуковых ограничений, действующих в пределах всей лексики русского языка. Уравнения записываем на языке алгебры конечных предикатов [2.] Введем необходимые признаки. Разделим все звуки речи признаком f на z — собственно звуки, * — паузу. Знак * означает отсутствие звука $f^z \vee f^*$, $f^* \sim x^*$.

Собственно звуки разделим признаком e на g — гласные, c — согласные, а признаком d на $ш$ — шумные и $н$ — нешумные: $f^z \sim e^g \vee e^c$; $f^z \sim d^{ш} \vee d^n$. Нешумные звуки делим признаком q на c — сонорные и $г$ — гласные: $d^n \sim q^c \vee q^g$, $e^g \sim q^g$.

Совокупность всех шумных звуков разделим по способу образования переменной l на два класса: a — аффрикаты, $н$ — неаффрикаты: $d^{ш} \sim l^a \vee l^n$. Множество $н$ делим признаком v на c — смычные, $щ$ — щелевые: $l^n \sim v^c \vee v^{щ}$.

Теперь совокупность всех согласных звуков разделим по месту образования переменной h на три класса: $г$ — губные, $п$ — переднеязычные, $з$ — заднеязычные: $e^c \sim h^g \vee h^п \vee h^з$. Множество $п$ делим переменной s на $з$ — зубные, $н$ — небоно-зубные: $h^п \sim s^з \vee s^n$. Множество гласных и сонорных звуков переменной k разделяются каждый на пять более мелких классов звуков:

$$e^g \sim k^a \vee k^o \vee k^y \vee k^м \vee k^s; \quad q^c \sim k^n \vee k^л \vee k^м \vee k^н \vee k^p.$$

Множество смычных звуков распадается на шесть классов:

$$v^c \sim k^п \vee k^б \vee k^т \vee k^д \vee k^к \vee k^р.$$

Множество щелевых звуков распадается на семь классов:

$$v^{щ} \sim k^в \vee k^ф \vee k^с \vee k^з \vee k^{ш} \vee k^ж \vee k^х.$$

Множество губных звуков подразделяется на шесть классов, заднеязычных — на три класса, зубных — на семь классов:

$$h^г \sim k^п \vee k^б \vee k^в \vee k^ф \vee k^м, \quad h^з \sim k^к \vee k^р \vee k^х, \\ c^з \sim k^т \vee k^д \vee k^ц \vee k^с \vee k^з \vee k^н \vee k^л.$$

Множество небоно-зубных делится на четыре класса:

$$c^n \sim k^ч \vee k^{ш} \vee k^ж \vee k^р.$$

Каждый класс k распадается на отдельные звуки речи. Запишем уравнения связей между соответствующими классами и звуками речи. Для гласных

$$k^a \sim x^a \vee x^{a'} \vee x^{a''} \vee x^a, \quad k^o \sim x^o \vee x^{o'} \vee x^{o''} \vee x^o, \\ k^y \sim x^y \vee x^{y'} \vee x^{y''} \vee x^y, \quad k^u \sim x^u \vee x^{u'}, \quad k^s \sim x^s \vee x^s.$$

Для сонорных

$$k^{\bar{n}} \sim x^{\bar{n}} \vee x^{\bar{n}'}, \quad k^{\bar{l}} \sim x^{\bar{l}} \vee x^{\bar{l}'} \vee x^{\bar{l}''} \vee x^{\bar{l}'}, \\ k^m \sim x^m \vee x^{m'} \vee x^{m''} \vee x^{m''}, \\ k^n \sim x^n \vee x^{n'} \vee x^{\bar{n}} \vee x^{\bar{n}'}, \quad k^p \sim x^p \vee x^{p'} \vee x^{\bar{p}} \vee x^{\bar{p}'}.$$

Для шумных согласных

$$k^r \sim x^{\bar{r}} \vee x^{\bar{r}'} \vee x^{\bar{r}''} \vee x^r \vee x^{r'}, \quad k^k \sim x^k \vee x^{k'}, \\ k^x \sim x^x \vee x^{x'}, \quad k^s \sim x^s \vee x^{s'}, \quad k^c \sim x^c \vee x^{c'}, \\ k^u \sim x^u \vee x^{u'} \vee x^{u''}, \quad k^ж \sim x^ж \vee x^{ж'}, \quad k^ш \sim x^ш \vee x^{ш'}, \\ k^ч \sim x^ч \vee x^{ч'} \vee x^{ч''}, \quad k^б \sim x^б \vee x^{б'} \vee x^{\bar{b}} \vee x^{\bar{b}'}, \\ k^в \sim x^в \vee x^{в'}, \quad k^п \sim x^п \vee x^{п'} \vee x^{\bar{p}} \vee x^{\bar{p}'}, \\ k^ф \sim x^ф \vee x^{ф'}, \quad k^д \sim x^d \vee x^{d'} \vee x^{\bar{d}} \vee x^{\bar{d}'}, \quad k^т \sim x^t \vee x^{t'} \vee x^{\bar{t}} \vee x^{\bar{t}'}$$

Разделим все звуки речи признаком p на з — звонкие, г — глухие. Звонкие звуки произносятся с голосом, глухие — без него

$$p^s \sim f^s \vee k^r \vee k^s \vee x^u \vee k^ж \vee x^ч \vee k^б \vee k^в \vee k^д; \\ p^r \sim k^x \vee k^k \vee k^c \vee x^u \vee x^{u'} \vee k^ш \vee k^п \vee x^ч \vee x^{ч'} \vee k^ф \vee x^*.$$

Все звуки речи признаком y делятся на т — твердые, м — мягкие при этом паузу относим к твердым звукам:

$$y^r \sim x^a \vee x^o \vee x^y \vee x^{u'} \vee x^s \vee x^{\bar{l}} \vee x^m \vee x^{\bar{n}} \vee \\ \vee x^{\bar{m}} \vee x^n \vee x^{\bar{n}} \vee x^p \vee x^{\bar{p}} \vee x^{\bar{r}} \vee x^r \vee x^k \vee x^x \vee \\ \vee x^s \vee x^c \vee x^u \vee x^{u'} \vee x^ж \vee x^ш \vee x^б \vee x^б' \vee x^в \vee \\ \vee x^п \vee x^{\bar{p}} \vee x^ф \vee x^d \vee x^{\bar{d}} \vee x^t \vee x^{\bar{t}} \vee x^*.$$

$$y^m \sim \bar{f}^s y^r.$$

Сначала опишем запреты на двучленные сочетания соседних звуков. Пусть (x_1, x_2) — пара соседних звуков в потоке речи или в фонетической записи текста. Индексом 1 обозначен звук произнесенный первым, индексом 2 — звук, произнесенный вторым. Переменным, которые являются признаками звуков x_1, x_2 , будем присваивать соответственно индексы 1 и 2. Ниже следует словесная формулировка лингвистических законов сочетаний соседних звуков речи и их перевод на язык уравнений алгебры ко-

течных предикатов. Существуют ограничения в сочетаемости гласных звуков по признакам глухости — звонкости, палатализации, а также по способу и месту образования звуков. Формализуем три правила, которые описывают свойства звонкости и глухости звуков.

Не допускаются сочетания любого глухого с любым звонким гласным, за исключением сонорных и [в]: $p_1^r p_2^g \supset k_2^g \vee q_2^g$.

Любой звонкий, за исключением сонорного, не сочетается с любым глухим: $p_1^g p_2^r \supset q_1^g$. Звонкий шумный не сочетается с следующей паузой: $p_1^g x_2$.

Следующая группа правил ограничивает сочетаемость звуков по признаку палатализации. Не допускаются сочетания мягкого переднеязычного смычного или щелевого с твердым губным смычным или щелевым, за исключением [д'], [з'] перед [б], [т'] перед [ф]:

$$y_1^m h_1^n l_1^n y_2^r h_2^r l_2^m \supset (k_1^d \vee k_1^f) k_2^b \vee k_1^r k_2^f.$$

Твердый переднеязычный щелевой не сочетается с мягким переднеязычным смычным: $y_2^m h_2^n v_2^n h_1^n v_1^m \supset y_1^m$.

Мягкие заднеязычные не сочетаются со следующим согласным другого места образования, кроме [j]: $y_1^m h_1^n h_2^g \supset x_2^j$. После всех твердых согласных, если они не небо-зубные шумные, не может следовать [j]: $y_1^r e_1^c x_2^j \supset c_1^m d_1^m$.

Любые два рядом стоящие согласные звуки либо оба твердые, либо оба мягкие, если они одинаковы во всем остальном:

$$e_1^c e_2^c (k_1 = k_2) \supset (y_1 = y_2).$$

Губные звуки, стоящие рядом, оба мягкие или оба твердые: $h_1^r h_2^g \supset (y_1 = y_2)$. Небно-зубные, стоящие рядом, эквивалентны по твердости и мягкости: $c_1^m c_2^m \supset (y_1 = y_2)$. Твердый зубной звук, если это не звук [л], не может сочетаться со следующим мягким зубным: $y_1^r c_1^g y_2^g c_2^g \supset k_1^r$.

Ниже следуют три правила, регулирующие произношение сонорных. После мягких зубных, кроме [л], не может следовать звук [р]: $y_1^m c_1^g k_2^g \supset k_1^r$. После звука [р'] невозможны небо-зубные шумные: $y_1^m k_1^r c_2^m d_2^m$.

Звук [н] перед мягкими шумными небо-зубными и переднеязычными смычными всегда произносится мягко:

$$y_2^m (c_2^m d_2^m \vee h_2^n v_2^c) \supset y_1^m k_1^m.$$

Записанные следующие четыре уравнения формализуют правила, ограничивающие сочетаемость звуков по месту и способу образования. Зубной смычный или щелевой не сочетается с [ч]: $c_1^g l_1^m k_2^g$. Запрещено сочетание зубного щелевого с небо-зубным щелевым:

$c_1^a v_1^m \supset c_2^n v_2^m$. Не допускается сочетание зубного щелевого с ш] $c_1^a v_1^m k_2^m$. Фонетически запрещены сочетания согласных одинакового способа и места образования

$$f_1^a f_2^a \supset (l_1^a \neq l_2^a) (v_1 \neq v_2) (h_1 \neq h_2) (c_1 \neq c_2).$$

Следующие три правила регулируют произношение гласны: звуков. Гласный звук, следующий за мягкими согласными, всегда мягкий, следующий за твердыми согласными — всегда твердый: $l_1^c l_2^c \supset (y_1 = y_2)$. Гласный звук, предшествующий мягкому согласному, всегда мягкий, предшествующий твердому согласному — всегда твердый: $l_1^c l_2^c \supset (y_1 = y_2)$. Пауза не сочетается со следующими за ней звуками [e], [ë], [ю], [я]:

$$\overline{x_1^* (x_2^e \vee x_2^ë \vee x_2^y \vee x_2^a)}.$$

Переходим к описанию трехчленных сочетаний согласных звуков. (x_1, x_2, x_3) — соседние звуки в речевом потоке или в фонетической модели. Индексы 1, 2, 3 аналогичны индексам в двухчленных сочетаниях. Некоторые сочетания согласных, представленные в орфографической записи как трехчленные, не могут выступать как трехчленные фонетически. Поэтому в качестве трехчленных сочетаний недопустимы следующие группы согласных: переднеязычный смычный + зубной щелевой + губной + [b]: [b'], [k], [k'], [л], [л'], [м], [м'], [н'], [п], [р], [т], [т']:

$$(q_3^c \vee k_3^b \vee k_3^k \vee x_3^n \vee x_3^r \vee x_3^t) \supset \overline{k_1^r k_2^c},$$

переднеязычный смычный + зубной щелевой + небно-зубная аффриката:

$$\overline{h_1^n v_1^c c_2^a v_2^m k_3^q},$$

зубной щелевой + зубной щелевой + небно-зубная аффриката:

$$\overline{c_1^a v_1^m c_2^a v_2^m k_3^q},$$

зубной щелевой + переднеязычный смычный + переднеязычный смычно-проходной:

$$c_1^a v_1^m (k_3^r \vee k_3^n) \supset \overline{h_2^n v_2^c},$$

зубной щелевой + переднеязычный смычный + переднеязычная аффриката:

$$c_1^a v_1^m k_3^u \supset \overline{h_2^n v_2^c},$$

переднеязычный смычно-проходной + переднеязычный смычный + + небно-зубной щелевой:

$$\overline{k_1^n c_3^n v_3^m} \supset \overline{h_2^n v_2^c},$$

звук [н] или заднеязычный смычный + два звука переднеязычных:

$$(k_1^h \vee h_1^a v_1^c) h_3^c v_3^c \supset \overline{h_2^c v_2^c},$$

звук [н] + переднеязычный смычный + заднеязычный смычный:

$$k_1^h h_3^a v_3^c \supset h_2^h v_2^c,$$

звук [л] + звук [н] + зубная аффриката:

$$\overline{k_1^h k_2^h k_3^u},$$

звук [н] + переднеязычный смычный + зубная аффриката:

$$\overline{x_1^h h_2^h v_2^c x_3^u},$$

сонорный дрожащий + переднеязычный смычный + зубная или небо-зубная аффриката:

$$\overline{x_1^h h_2^h v_2^c (x_3^u \vee x_3^q)}.$$

Рассмотрим наиболее широко представленные типы трехчленных сочетаний: «шумный + шумный + сонорный»:

$$d_1^m d_2^m q_3^c \supset y_1^t y_2^t k_3^l;$$

«шумный + шумный + шумный»:

$$d_1^m d_2^m d_3^m \supset \overline{y_2^m y_3^t},$$

для двух конечных членов названных сочетаний согласных недопустимы сочетания, которые невозможны и как двучленные:

$$d_1^m (d_2^m \vee q_2^c) f_3^* \supset \overline{y_1^m y_2^t},$$

для двух начальных членов трехчленных сочетаний типа «сонорный + шумный + шумный» справедливо соотношение, которое распространяется и на двучленные сочетания: $f_1^* q_2^c d_3^m \supset y_2^t$.

Уравнения, записанные для двух начальных и двух конечных фонем трехчленных сочетаний, необходимы при математическом моделировании орфофонетических отношений; в задачах анализа речи эти уравнения не используются, так как сегментация речевого потока на отдельные слова является задачей более высокого семантического уровня.

Четырехчленные сочетания согласных звуков представляют собой комбинацию трех двучленных сочетаний. Например: [кств] → [кс] + [ст] + [тв]. Таким образом, фонетические ограничения, существующие в пределах двучленных сочетаний, действительны и для четырехчленных сочетаний. Поэтому отдельно четырехчленные сочетания в работе не описываются.

Список литературы: 1. Аванесов Р. И. Русское литературное произношение. — М.: Просвещение, 1972. — 412 с. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Начало теории интеллекта: Математические средства. — Рукопись деп. в ВИНТИ, № 3322-82. — 240 с.

Поступила в редколлегию 27.06.83.

КОМПИЛЯТИВНЫЙ СИНТЕЗ РЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭФФЕКТА СГЛАЖИВАНИЯ В СЛУХЕ

В области синтеза речи существует много способов, которые различаются объемом словаря и сложностью правил управления генерацией речи. В одном из способов используется словарь из слов, произнесенных диктором, причем огибающие речевые сигналы в закодированном виде хранятся в памяти синтезатора. В другом методе слова, произнесенные человеком, анализируются и хранятся в памяти в виде параметров изменяющихся во времени резонансных частот речевого тракта человека. Третий предлагает синтезировать текст на основе правил произношения звука и синтаксической информации.

Все эти методы в качестве речевых синтезаторов используют довольно сложное оборудование. В последнее время большое внимание уделяется речезлементным методам синтеза речи, так как они имеют более широкий диапазон применения и, следовательно, более разнообразны. Речезлементные методы синтеза можно разделить на следующие группы: фонемные, дифонные, триадные, словесные, командные. В предлагаемой статье описывается компилятивный синтез речевых сообщений, основанный на использовании дифонов (структур типа СГ) для синтеза речевых сигналов.

Синтез речи для экспериментальной фонетики представляет собой инструмент для изучения взаимоотношений структуры речевой волны с процессом восприятия речи. Как метод изучения акустических параметров речи, отражающих способ ее образования и важных для восприятия, синтез является важным для исследования информационной природы речи. Принципы компилятивного синтеза, изложенные в настоящей работе, позволяют осуществить синтез речевых сообщений с незначительными аппаратными затратами и качеством, близким к человеческому оригиналу.

Компилятивный синтез речи является наиболее адекватным и легко реализуемым методом. Его отличительной особенностью является то, что он основан на психофизическом эффекте сглаживания в слухе [1], суть которого заключается в том, что речевой сигнал может быть представлен серией стандартных прямоугольных импульсов, следующих с определенной частотой. Таким образом, при определенном режиме преобразования сигнала, представленном последовательностью стандартных импульсов, содержится вся информация исходного сигнала. Адекватное преобразование речевого сигнала в частотно-импульсный код позволяет получить полный двоичный код исходного сигнала, представляющий собой его абсолютное описание в термин

бинарных отношений (комбинация нулей и единиц). Дискретизированный речевой сигнал при подаче его непосредственно на акустическую систему (динамик, телефон) воспринимается человеком как непрерывный исходный сигнал.

Метод синхронизированного преобразования речевых сигналов в частотно-импульсный код позволяет посредством выбора частоты квантования (синхронизации) эффективно сокращать избыточную информативность речевого сигнала. Такое свойство частотно-импульсного кода, полученного в результате преобразования исходных речевых сигналов с учетом эффекта сглаживания в слухе, оказывается важным при решении задач автоматического синтеза речи, так как позволяет значительно упростить систему аппаратурных и программных средств и, при прочих равных условиях, повысить показатель эффективности системы.

Очевидно, наиболее важной задачей при использовании этого подхода является выбор системы базовых элементов. Ограниченные возможности запоминающих устройств не позволяют использовать готовые фразы и слова. Даже слоги являются слишком многочисленными элементами (их в русском языке примерно 2 тыс.). Однако синтез на уровне слогов представляет интерес в связи с легкостью организации переходов между компилируемыми слогами. Известно, что в русском языке преобладают открытые слоги, СГ, ССГ и т. д. Кроме того, русские гласные сравнительно мало подвергаются влиянию последующих звуков. Поэтому можно предположить, что в качестве основных базовых элементов для синтеза могут быть взяты сочетания типа СГ, ССГ и т. д. Однако их число в русском языке превышает тысячу, что опять-таки неприемлемо с точки зрения требуемых объектов памяти.

Отметим, что компилированные из отдельных звуков сочетания типа СГ звучат очень неестественно в связи с большим влиянием переходного участка на восприятие. Сложные законы взаимодействия звуков в слове даже при четкой артикуляции влияют на особенности акустического образа, являющегося конечным результатом речевого акта. Эти особенности наиболее отчетливо проявляются в переходных областях на стыках различных звуков. Известно также, что слоговые признаки имеют весьма устойчивый характер [2] и их можно использовать как универсальные самостоятельные речевые единицы для синтеза переходных областей между соответствующими звуками. В связи с этим в качестве основного базового элемента был выбран элемент типа СГ (дифон).

В список базовых включили некоторые элементы ГС с согласными (Л), (Л'), (М), (М'), (Н), (Н'). Переходные участки между гласными и этими согласными очень растянуты, границы расплывчаты, а простое объединение гласного с согласным не позволяет получить качественно звучащего элемента.

Остальные сочетания типа ГГ и СС трактовали как соче-

тания, составленные путем простого объединения составляющих фонем. Таким образом, для синтеза достаточно иметь элементы в виде отдельных фонем. Следовательно, в алфавит базовых элементов необходимо включить элементы типа Г и С, содержащие основные их оттенки.

В работе экспериментальным путем осуществлено выделение дифонов из определенного словаря. Предлагаемый метод синтеза основан на предварительном автоматическом анализе речи человека, необходимом для составления искусственного словаря слов для последующей обработки с целью выделения эталонных дифонов. Экспериментальный материал состоял из отдельных изолированно произносимых слов. При составлении материала были предусмотрены позиционные варианты отдельных дифонов, которые в дальнейшем, за некоторым исключением, использованы при синтезе речи. Экспериментальный материал был зачитан хорошо подготовленным диктором. Речевые сообщения, подвергшиеся обработке с целью выделения базовых элементов, дискретизировались с частотой квантования во времени 25,6 кГц, представленные в частотно-импульсном коде, заносились в дисковую память ЭВМ. Затем были получены распечатки динамических портретов записанных слов.

Установление границ дифонов сначала осуществлялось визуально по изображению динамического портрета слова, а после неоднократного прослушивания границы корректировались. Это давало возможность получить наиболее качественно звучащие дифоны. Пригодность того или иного дифона проверялась во всех специально подобранных звукосочетаниях с другими дифонами с целью достижения наиболее естественного звучания компилируемых структур. Экспериментальный материал представлял по три позиционных варианта для каждого дифона в начале, внутри и в конце слова. В результате исследования количество позиционных вариантов для некоторых дифонов сократилось до одного, так как некоторые дифоны оказались позиционно инвариантными. В предлагаемом методе синтеза используются интонационные неударные варианты произнесения дифонов. Выделенные элементы хранились в дисковой памяти ЭВМ. Базовые элементы обрабатывались с целью нормализации их длительности и интенсивности. Концам сегментов придавалась заостренная форма с целью получения сегментов, начинающихся и оканчивающихся нулевыми амплитудами для облегчения их стыковки при синтезе. В этом случае дифоны извлекаются из памяти ЭВМ и стыкуются вплотную, образуя слитный речевой сигнал.

Синтезируемая речь характеризуется хорошей натуральностью, чему способствовало использование естественно произносимых слов, а также некоторых фонетических закономерностей естественной речи.

Общая структура описанного в статье метода синтеза речи

обладает большой гибкостью при формировании довольно большого словаря.

Список литературы: 1. А. с. 991492 (СССР). Способ распознавания речевых сигналов / М. Ф. Бондаренко, А. Я. Дрюченко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. — Оpubл. в Б. И., 1983, № 3, с. 47. 2. Книппер А. В., Махонин В. А. Специфика описания речевого сигнала при распознавании. — В кн.: Речевое общение в автоматизированных системах. М., 1975, с. 175.

Поступила в редколлегию 02.04.84.

УДК 510. 62

В. П. ПЧЕЛИНОВ, канд. техн. наук, В. В. ШЛЯХОВ,
А. В. ЗЕЛИНСКИЙ

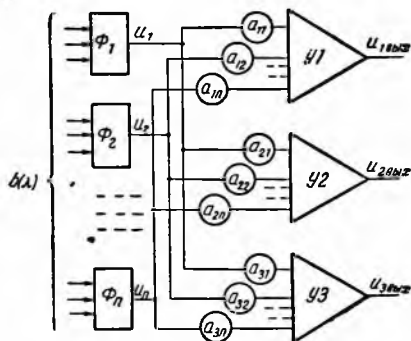
ВОПРОСЫ АППРОКСИМАЦИИ КРИВЫХ СЛОЖЕНИЯ ЦВЕТА ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТОПРИЕМНИКОВ

Во многих отраслях промышленности, особенно при построении автоматизированных систем управления, часто возникает необходимость в измерении координат цвета, выраженных в единицах общепринятых колориметрических систем. При этом фотоприемники колориметров должны обладать спектральными характеристиками, аналогичными кривым сложения цвета $e_j(\lambda)$ ($j = 1, 2, 3$) [1].

Однако промышленность не выпускает таких фотоприемников, а получение требуемой спектральной характеристики с помощью корректирующих светофильтров представляет известные трудности. Для облегчения этого процесса в работе [2] предложен принцип построения колориметра, который может настраиваться на кривые сложения цвета путем их аппроксимации с помощью спектральных характеристик обычных фотоприемников (фотоумножителей, фоторезисторов и т. п.) (рисунок), перед которыми устанавливаются узкополосные светофильтры, в совокупности охватывающие весь участок видимого спектра.

Из рисунка видно, что описываемое устройство представляет собой систему фотоприемников $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$, сигналы с которых подаются на решающие усилители $У1, У2, У3$, причем на входе каждого из них этот сигнал может быть подан с различным коэффициентом передачи, определяемым из выражения

$$u_{i \text{ вых}} = a_{ii} u_i = \frac{R_{0i}}{R_{1i}} u_i, \quad (1)$$



Колориметр

где u_i — сигнал на выходе i -го фотоприемника ($i = 1, 2, \dots, n$); $u_{j \text{ вых}}$ — сигнал на выходе j -го решающего усилителя ($j = 1, 2, 3$); R_{ji} — сопротивление i -го резистора на входе j -го решающего усилителя; R_{0j} — сопротивление резистора обратной связи j -го решающего усилителя.

Электрический ток, возникающий в цепи каждого фотоэлемента под действием излучения $b(\lambda)$, может быть определен из выражения [3]

$$I_i = q \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Здесь $f_i(\lambda)$ — результирующая спектральная характеристика i -го фотоприемника и светофильтра; $\lambda_{i1}, \lambda_{i2}$ — длины волн излучений соответствующие началу и концу диапазона пропускания i -го светофильтра; q — коэффициент пропорциональности.

Тогда напряжение на выходе каждого фотоприемника равно

$$u_i = I_i R_{Hi} = q R_{Hi} \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

где R_{Hi} — сопротивление нагрузки в цепи i -го фотоприемника

Поскольку на вход решающего усилителя подаются одновременно сигналы со всех фотоприемников, то его выходное напряжение будет определяться согласно формуле

$$\begin{aligned} u_{j \text{ вых}} &= \sum_{i=1}^n a_{ji} u_i = \sum_{i=1}^n a_{ji} q R_{Hi} \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) f_i(\lambda) d\lambda = \\ &= q R_{Hi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) \left(\sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right) d\lambda, \end{aligned} \quad (4)$$

λ_1, λ_2 — длины волн нижней и верхней границ светового диапазона.

Из этого выражения следует, что спектральная характеристика каждого из трех каналов прохождения сигналов определяется из соотношения

$$\varphi_j(\lambda) = \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda). \quad (5)$$

Поскольку на входе колориметра, приведенного на рисунке, имеется система, состоящая из n фотоприемников, то можно сказать, что на некотором множестве A задана система функций $\{f_i(\lambda)\}^n$.

Так как для каждого из установленных фотоприемников известна его спектральная характеристика, то задача аппроксимации кривых сложения сводится к отысканию величин коэффициентов a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) в выражении (5), определяющих такие установ-

ки резисторов, изображенных на рисунке, чтобы различия между кривыми $e_j(\lambda)$ и $\varphi_j(\lambda)$ ($j = 1, 2, 3$) были минимальными.

Если рассматривать эти функции как элементы множества A , являющегося подмножеством пространства $L_2[\lambda_1, \lambda_2]$ [4], то в качестве меры отклонения полинома (5) от заданной функции $e_j(\lambda)$, в смысле метрики этого пространства, необходимо брать среднеквадратичное отклонение [5]:

$$\delta = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (\varphi_j(\lambda) - e_j(\lambda))^2 d\lambda. \quad (6)$$

Наилучшее среднеквадратичное приближение будем искать следующим образом.

Рассмотрим линейную комбинацию $\sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda)$, для которой

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda)) f_m(\lambda) d\lambda = 0 \quad (m = 1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

Ее существование следует из того, что коэффициенты a_{ij} однозначно определяются из системы линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_j(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda, \quad (8)$$

матрица которой является матрицей Грама для набора $\{f_i(\lambda)\}^n$ — линейно независимых функций, а значит ее определитель не равен нулю. Можно показать, что выражение (6) достигает своего минимума на этой линейной комбинации. Для этого возьмем какую-нибудь другую линейную комбинацию $\sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda)$ и рассмотрим для нее условие (6) с учетом (7):

$$\begin{aligned} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda) + \right. \\ &+ \sum_{i=1}^n (a_{ij} - a'_{ij}) f_i(\lambda) \left. \right)^2 d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda + \\ &+ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\sum_{i=1}^n (a'_{ij} - a_{ij}) f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda \geq \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ij} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda. \end{aligned} \quad (9)$$

Из полученной зависимости следует наше утверждение.

Аппроксимируем интегралы системы (8) на произвольном множестве точек $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \in [\lambda_1, \lambda_2]$. Тогда

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) f_m(\lambda_k). \quad (10)$$

Обозначим

$$\sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) f_m(\lambda_k) = (f_i, f_m). \quad (11)$$

**О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ФОНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ
МЕЖДУ СОСЕДНИМИ СОГЛАСНЫМИ ЗВУКАМИ В РУССКОЙ РЕЧИ**

Известно [1], что в русской речи не могут соседствовать любые звуки. Это означает, что соседние звуки взаимосвязаны между собой. Цель настоящей статьи — математическое описание такого рода связей для пар звуков типа согласный — согласный. Описание имеет вид уравнений алгебры конечных предикатов [2]. Каждый согласный звук речи будем формально представлять в виде вектора (p, q, r, s) . Переменную p назовем обобщенной согласной фонемой, область ее изменения задаем уравнением

$$p^a \vee p^l \vee p^m \vee p^n \vee p^p \vee p^c \vee p^t \vee p^f \vee p^x \vee p^w \vee p^- \quad (1)$$

Переменную q назовем признаком смягчения звука, область ее изменения задаем уравнением

$$q^T \vee q^M. \quad (2)$$

Переменную r назовем признаком длительности звука, область ее изменения вводим уравнением

$$r^d \vee r^k. \quad (3)$$

Переменную s назовем признаком звучности, область ее изменения задаем уравнением

$$s^z \vee s^g. \quad (4)$$

Дадим содержательную интерпретацию значениям введенных переменных. Значение $q = m$ соответствует фонетическому понятию «мягкий согласный», а значение $q = t$ — понятию «твердый согласный». Значение $r = d$ соответствует понятию «долгий или щелевой согласный», значение $r = k$ — понятию «краткий взрывной, смычный или слитный согласный». Значение $s = z$ соответствует фонетическому понятию «звонкий согласный, т. е. произнесенный при участии голосовых связок», значение $s = g$ — понятию «глухой согласный, или согласный, произнесенный без голоса». Значение $p = j$ соответствует звуку [j], возможно звонкое (голосом) и глухое (шепотом) произнесение обобщенной фонемы й. Полагаем, что звук й всегда мягкий и долгий, т. е.

$$p^j \supset q^m r^d. \quad (5)$$

Значениям $p = l, m, n, p$ соответствуют звуки [л], [м], [н], [р]. Указанные звуки могут произноситься звонко или глухо (в последнем случае их принято обозначать $\underset{\wedge}{[л]}, \underset{\wedge}{[м]}, \underset{\wedge}{[н]}, \underset{\wedge}{[р]}$),

твердо или мягко (в последнем случае их обозначают в виде [л'] [м'], [н'], [р']). Все они произносятся долго:

$$p^{\text{л}} \vee p^{\text{м}} \vee p^{\text{н}} \vee p^{\text{р}} \supset r^{\text{л}}. \quad (1)$$

Значению $p = c$ соответствуют звуки [с] — долгий глухой, [з] — долгий звонкий, [дз] — краткий звонкий, [ц] — краткий глухой. Первые два звука могут произноситься как твердо, так и мягко. Последние два звука всегда произносятся твердо:

$$p^{\text{с}} r^{\text{к}} \supset q^{\text{т}}. \quad (2)$$

Значению $p = t$ соответствуют звуки [т] — глухой, [д] — звонкий. Оба они могут звучать и твердо, и мягко. Оба эти звука краткие:

$$p^{\text{т}} \supset r^{\text{к}}. \quad (3)$$

Значению $p = \phi$ соответствуют звуки [ф] — долгий глухой, [в] — долгий звонкий, [п] — краткий глухой, [б] — краткий звонкий. Все эти звуки могут произноситься как твердо, так и мягко. Значению $p = x$ соответствуют звуки [х] — долгий глухой, [γ] или [h] — долгий звонкий, [к] — краткий глухой, [г] — краткий звонкий. Все они могут произноситься и твердо, и мягко. Значению $p = ш$ соответствуют звуки [ш] — долгий глухой, [ж] — долгий звонкий, [ч] — краткий глухой, [дж] — краткий звонкий. Первые два звука бывают и твердые, и мягкие, последние же два звука всегда произносятся мягко:

$$p^{\text{ш}} r^{\text{к}} \supset q^{\text{м}}. \quad (4)$$

Значению $p = -$ соответствует пауза, отсутствие звука в речевом потоке. Полагаем, что при $p = -$ допустимы все возможные значения переменных q, r, s .

Переходим к записи уравнений для фонетических отношений, имеющих место для соседних согласных звуков речи. Каждое фонетическое отношение будем сперва записывать в неформальной словесной форме и лишь после этого — в символическом виде.

Глухой согласный звук не сочетается со следующим за ним звонким шумным, кроме звуков [в], [в']:

$$s_1^{\text{г}} s_2^{\text{ш}} \text{Шум} (p_2) \supset p_2^{\text{ф}} r_2^{\text{д}} s_2^{\text{з}}. \quad (10)$$

Индекс 1 относится к первому по времени звуку, индекс 2 — к следующему за ним. Предикат

$$\text{Шум} (p) \equiv p^{\text{с}} \vee p^{\text{т}} \vee p^{\text{ф}} \vee p^{\text{х}} \vee p^{\text{ш}} \quad (11)$$

соответствует понятию «шумный согласный звук». Приведем примеры произношения звуков: сдача — +[зд], —[сд]; двухзвонный — +[γз], —[хз]; свалка — +[св], —[хв]; трехжильный — +[γж], —[хж]; сгрести — +[зг], —[сг]. Знаком + обозначено произношение, допустимое уравнением (10), знаком — — недопустимое.

Звонкий шумный звук не сочетается со следующим глухим шумным:

$$s_1^3 \text{ Шум } (p_1) \text{ Шум } (p_2) \supset s_2^3. \quad (12)$$

Примеры: обхватить — + [пх], — [бх]; общий — + [пщ], — [бщ]; торник — + [фт], — [вт]; Гинцбург — + [дзб], — [цб].

Звонкий шумный звук не сочетается с последующей паузой:

$$\text{Шум } (p_1) p_2^- \supset s_1^-. \quad (13)$$

Примеры: дуб — + [п], — [б]; враг — + [к], — [г]; раз — + [с], — [з]; ров — + [ф], — [в]; рожь — + [ш'], — [ж'].

Взрывной зубной или передненебный не сочетается со следующим слитным или щелевым того же места образования:

$$p_1^T (p_2^c \vee p_2^{ш}). \quad (14)$$

Примеры: джем — + [джж], — [дж]; отшить — + [чш], — [тш]; жжить — + [джж], — [дж]; делается — + [цс], — [тс]; отца — + [цц], — [тц]; подозрный — + [дзз], — [дз].

Щелевой и слитный зубной звук не сочетается со следующим шумным передненебным:

$$p_1^c p_2^{ш}. \quad (15)$$

Примеры: сшить — + [шш], — [сш]; сжимать — + [жж], — [сж]; из журнала — + [жж], — [жж]; Ницше — + [чш], — [цш]; счет — + [шч], — [сч].

Твердый зубной согласный (если это не звук л) не может сочетаться со следующим мягким зубным:

$$q_1^T (p_1^T \vee p_1^c \vee p_1^H) (p_2^T \vee p_2^c \vee p_2^H \vee p_2^M) \supset q_2^T. \quad (16)$$

Примеры: усни — + [с'н'], — [сн']; ездить — + [з'д'], — [зд']; казнь — + [з'н'], — [зн']; на ленте — + [н'т'], — [нт']; о романсе — + [н'с'], — [нс'].

Тот же звук не может сочетаться со следующим мягким губным:

$$q_1^T (p_1^T \vee p_1^c \vee p_1^H) (p_2^Ф \vee p_2^M) \supset q_2^T. \quad (17)$$

Примеры: Тверь — + [т'в'], — [тв']; змей — + [з'м'], — [зм']; азбой — + [зб], — [з'б]; о канве — + [н'в'], — [нв'].

Твердый губной согласный не может сочетаться со следующим мягким губным:

$$q_1^T (p_1^Ф \vee p_1^M) (p_2^Ф \vee p_2^M) \supset q_2^T. \quad (18)$$

Примеры: вбить — + [в'б'], — [вб']; Кромвель — + [м'в'], — [мв']; бвить — + [б'в'], — [бв']; впихнуть — + [ф'п'], — [фп'].

Мягкий губной согласный не может сочетаться со следующим твердым губным:

$$q_1^m (p_1^\phi \vee p_1^m) (p_2^\phi \vee p_2^m) \supset q_2^m. \quad (1)$$

Примеры: обмыть — + [бм], — [б'м]; Гофман — + [фм], — [ф'м]
камвольный — + [мв], — [м'в].

Твердый заднеязычный согласный не может сочетаться со следующим мягким заднеязычным:

$$q_1^t p_1^x p_2^x \supset q_2^t. \quad (2)$$

Примеры: мягкий — + [х'к'], — [хк']; Аггей — + [г'г'], — [гг']
к киту — + [к'к'], — [кк'].

Мягкий заднеязычный согласный не может сочетаться со следующим твердым заднеязычным:

$$q_1^m p_1^x p_2^x \supset q_2^m. \quad (2)$$

Примеры: легко — + [хк], — [х'к]; к коту — + [кк], — [к'к]

Звук н перед мягкими шумными переднеязычными всегда произносится мягко:

$$p_1^m q_2^m p_2^m \supset q_1^m. \quad (2)$$

Примеры: гончий — + [н'ч'], — [нч']; раньше — + [н'ш'], — [нш']
манжеты — + [н'ж'], + [нж], — [нж'].

После шумного переднеязычного невозможен другой шумный переднеязычный, если он не разделяет с первым его твердости или мягкости:

$$p_1^m p_2^m \supset (q_1 = q_2). \quad (2)$$

Примеры: отщепенец — + [т'щ'], — [тщ']; лучше — + [чш], — [ч'ш]

После мягких зубных (кроме [л']) не могут следовать дрожащие [р] и [р']:

$$(p_1^t \vee p_1^c \vee p_1^m) p_2^d \supset q_1^t. \quad (2)$$

Примеры: три — + [тр'], — [т'р']; усреднить — + [ср'], — [с'р']
драть — + [др], — [д'р].

Мягкие губные не сочетаются со следующими согласными другого места образования, кроме [j]:

$$(p_1^\phi \vee p_1^m) \overline{p_2^\phi \vee p_2^m \vee p_2^n \vee p_2^t} \supset q_1^t. \quad (2)$$

Примеры: об овсе — + [фс'], — [ф'с']; мне — + [мн'], — [м'н']
блеять — + [бл'], — [б'л'].

Мягкие заднеязычные не сочетаются со следующими согласными другого места образования, кроме [j]:

$$p_1^x \overline{p_2^x \vee p_2^n} \supset q_1^t. \quad (2)$$

Примеры: квота — + [кв], — [к'в]; Кьянти — + [к'j]; грипп — + [гр'], — [г'р']; хрюкать — + [хр'], — [х'р'].

После всех твердых согласных, если они не переднеязычные шумные, не может следовать [j]:

$$q_1^r p_2^h \supset p_1^h. \quad (27)$$

Примеры: пью — + [п'j], — [пj]; съемка — + [с'j], — [сj]; Марья — + [р'j], — [рj]; Лукьян — + [к'j], — [кj].

После мягкого *p* невозможны шумные переднеязычные:

$$p_1^r p_2^h \supset q_1^r. \quad (28)$$

Примеры: коржики — + [рж], — [р'ж]; корчиться — + [рч], — [р'ч].

Перед паузой невозможны мягкие заднеязычные:

$$p_1^x p_2^- \supset q_1^r. \quad (29)$$

Примеры: рог — + [к], — [к']; мох — + [х], — [х'].

Любые два рядом стоящих согласных звука либо оба твердые, либо оба мягкие, если они одинаковы во всем остальном:

$$(p_1 = p_2) (r_1 = r_2) (s_1 = s_2) \supset (q_1 = q_2). \quad (30)$$

Примеры: осенний — + [н'н'], — [нн']; аккорд — + [кк], — [к'к']; аппендикс — + [п'п'], — [пп'].

Список литературы: 1. Панов Н. В. Русская фонетика. — М.: Просвещение, 1967. — 438 с. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Начала теории интеллекта: Математические средства. Рукопись деп. в ВИНТИ, № 3322—82. — 240 с.

Поступила в редколлегию 07.06.83.

УДК 510.62

Р. И. КРУПОДЕРОВ, С. В. КУТНЯК, А. Н. ПОСПЕЛОВ,
О. М. СОЛОВЬЕВА

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧЕЛОВЕКА С ТАБЛО КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Почти 80 % информации человек получает по зрительному каналу. Этот факт обусловлен тем, что образное представление зрительного материала воспринимается и заполняется лучше, чем его описание. Человек не просто запоминает предъявленную информацию, но и производит различные преобразования ее в целях облегчения запоминания. Эти преобразования сводятся к структуризации информации, представлению ее в виде структур, схем, таблиц.

Получены экспериментальные доказательства различий в функциональной структуре символьной и образной памяти человека. В то время, как символьная память — кратковременна, образная память может функционировать независимо от кратковременной и является долговременной. Она обладает огромной емкостью и высоким быстродействием.

Мозг человека хранит образы только тех предметных областей, с которыми он часто и постоянно работает. При управлении человек использует много информации извне. Он не в состоянии ее запомнить. В этом случае целесообразно как бы «продолжить» мозг человека, реализовав его в виде информационной поисковой системы, хранящей информацию в виде структуры и описаний их элементов.

Серийный выпуск отечественных таблиц коллективного пользования (ТКП) позволяет решать принципиально по-новому многие задачи: принятие решения в целевом управлении; получение экспертных оценок; генерация идей в режиме «мозговой атаки». Такие системы состоят из общего экранно-вычислительной системы и рабочих мест участников коллективной встречи. Рабочее место представляет собой дисплей с устройством сенсорного ввода информации, обладающий внутренней и внешней памятью, а также микропроцессором. Через дисплей каждый пользователь имеет связь с экраном. В этом случае особо остро возникает проблема упрощения связи пользователей с системами отображения информации (СОИ). Применение СОИ выходит за рамки оповещения, односторонней передачи информации. Теперь СОИ используются как активный элемент управления и являются технической основой для построения информационной модели процесса управления. Для повышения эффективности управленческих решений информационная модель должна удовлетворять трем важнейшим требованиям: по содержанию — она должна адекватно отображать объект управления и окружающую его среду; по количеству информации — обеспечивать оптимальный информационный баланс и не приводить к дефициту или убытку информации; по форме представления — соответствовать задачам оператора по управлению и его психофизиологическим возможностям по поиску и переработке информации.

Процесс активного выделения информации об объекте управления представляет собой информационный поиск, эффективность которого зависит от общего объема отображаемой знаковой информации; структуры информационного поля и плотности знаков в нем; оперативного объема отображения; размера и структуры знаков; разнообразия; разнообразия элементов информационного поля.

Наиболее существенным фактором, влияющим на качество восприятия информации с ТКП, являются угловые размеры знака. Закон Бугера-Вебера утверждает, что отношение величины изменения стимула к ее абсолютному значению постоянно, а это значит, адекватность восприятия различной зрительной информации при выполнении условия

$$\frac{\Delta V}{V} = \text{const},$$

где ΔV — приращение стимула; V — значение стимула.

Использование ТКП как результирующего устройства принятия решений не требует высокой точности отображения элементов изображения. В данном случае необходимо предъявлять информацию в наиболее наглядном виде, чтобы облегчить преобразование ее человеком.

Исследование управленческой информации позволило выделить три класса информационных образующих: символы, прямые линии, базисные графические объекты.

С помощью суперпозиции элементов этих классов можно быстро и просто отображать на ТКП любую реальную управленческую информацию.

Символы. Для буквенно-цифрового алфавита с учетом оптимальных значений яркости контраста и фона угловой размер объекта составляет минимум 18 мин. Набор символов, расположенных в строку и обозначающих один объект, называется формуляром. Сокращенные формуляры обычно состоят из одного, двух знаков. Полные формуляры содержат от 5 до 12 знаков. Оптимальным считается семизначный формуляр. При переходе от 7 до 12 значных формуляров и выше точность воспроизведения резко снижается из-за ограниченности кратковременной памяти человека.

Найдем необходимые размеры знакомест для отображения информации на ТКП. Из эргономических требований ширина символа должна составлять $2/3$ его высоты: $Ш_c = (2/3) V_c$, где $Ш_c$ — ширина символа; V_c — высота символа. Расстояние между строками не менее $1/2$. Расстояние между символами не менее $1/3 Ш_c$. Получим размеры знакоместа:

$$Ш_{зн} = 0,89 \times V_c, \quad V_{зн} = 1,5 \times V_c.$$

Здесь $V_{зн}$ — высота знакоместа; $Ш_{зн}$ — ширина знакоместа.

Количество строк экрана вычисляется по формуле $K_{ст} = VT/V_{зн}$, где VT — высота табло; $K_{ст}$ — количество строк. Количество символов в строке $K_{сс} = ШТ/Ш_{зн}$, $K_{ст}$ — количество строк; $K_{сс}$ — количество символов в строке; $ШТ$ — ширина табло.

Символьная емкость экрана составит

$$C_e = K_{ст} K_{сс} = (VTШТ)/(1,335V_c).$$

Определение оптимальных расстояний до ТКП. Оперативная зона опознания составляет 30° от центра к периферии по правому горизонтальному меридиану. На основании этого можно определить минимальное расстояние от пользователя до экрана:

$$l_{\min} = (ШТ/2)/\text{tg } 30^\circ = 0,9ШТ.$$

Максимальное расстояние до пользователя ограничивается символьной емкостью экрана. Из эргономических требований

$$V_c = 2Kl \text{ tg } (\alpha/2),$$

где l — расстояние до объекта; K — коэффициент пересчета для ТКП (1,15—1,2) [2], α — для простых символов $18'$.

Если задана символьная емкость экрана, можно определить максимальное расстояние от пользователя до ТКП:

$$l_{\max} = \left(V \sqrt{\frac{BT \text{ ШТ}}{1,335 \times C_e}} \right) / (2K \operatorname{tg}(\alpha/2)).$$

Прямые линии. Зная цвет экрана, его линейные размеры и расстояние до него, можно рассчитать число элементообразующих, достаточных для построения любой прямой, используя понятие «характеристика фасада» [1]. Характеристикой фасада прямой называется набор периодически повторяющихся чисел, каждое из которых показывает количество точек в строке, принадлежащих прямой и не имеющих хотя бы с одной стороны смежных точек, также принадлежащих той же прямой. Ее можно интерпретировать как тангенс угла наклона прямой.

Минимальная длина отрезка прямой, на которой выявляется ее характеристика фасада, называется базисом полного изображения прямой. Прямые, у которых тангенс угла наклона можно представить отношением $1/n$, где n — любое целое число, называются базисными, а характеристики фасада — стандартными.

Характеристики фасада любой не базисной прямой состоят из последовательности только двух отличающихся на единицу чисел, так для $\operatorname{tg} \varphi = a/b$ можно записать $1/(n+1) < a/b < 1/n$, где a, b, n — целые числа. Дробь a/b можно переписать в виде $a/b = a/(an+m) = a/((a-m)n + m(n+1))$, где $m < a$, так как $a < b$.

Анализируя последнюю дробь, можно сделать вывод, что для отображения прямой, тангенс которой равен a/b , необходимо сделать m шагов по $(n+1)$ точек и $(a-m)$ шагов по n точек, всего a шагов. Таким образом, характеристика фасада произвольной прямой, угол наклона которой лежит внутри угла образованного двумя смежными базисными прямыми, состоит из последовательности характеристик фасадов (ХФ) этих базисных прямых.

Пусть экран состоит из знакомест в виде прямоугольника. Размер по горизонтали T точек, а по вертикали — $(K/L) T$ точек (K/L несократимая дробь — отношение количества точек знакоместа по вертикали к количеству точек по горизонтали).

Условие конечного набора элементообразующих можно записать в виде системы из двух уравнений:

$$N(m(n+1) + (a-m)n) = GT; \quad Na(L/K) = VT,$$

где N — количество повторений ХФ прямой; V и G — целые числа. Решая уравнения, получим

$$\frac{VK}{GL} = \frac{a}{m(n+1) + (a-m)n},$$

а количество элементообразующих будет $K_0 = VK + GL - 1$. Отсюда можно сделать вывод, что при одинаковых размерах точки

по горизонтали и вертикали оптимальным является знакоместо в форме квадрата. Тогда количество элементообразующих определяется по формуле $K_3 = V + G - 1 = a + b - 1$.

Важным фактором, влияющим на значения a и b , а значит и на количество элементообразующих, является точность получения ХФ прямой. Найдем погрешность ХФ прямой такую, чтобы прямая, построенная точками по данной ХФ, не выходила за пределы толщины прямой, которую необходимо построить на максимальном удалении от ее начала. На рис. 1 показан промежуток $0 \leq \alpha_1 \leq \arctg(a/b)$:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{K_1}{b}; \quad \operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{K_1 - h_1/2}{b}; \quad \operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{K_1 + h_1/2}{b};$$

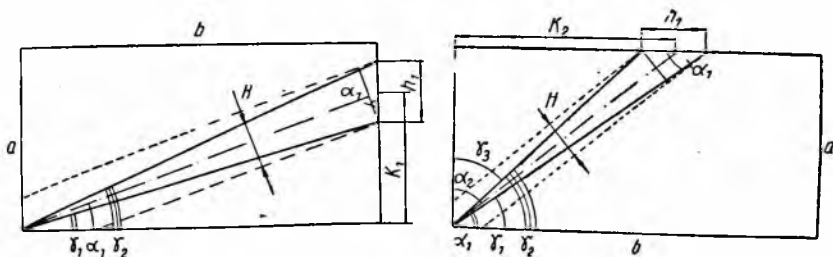


рис. 1. Определение погрешности ХФ прямой в интервале $0 \leq \alpha_1 \leq \arctg(a/b)$

рис. 2. Определение погрешности ХФ прямой в интервале $\arctg(a/b) \leq \alpha_1 \leq 90^\circ$

$$\Delta_{1ХФ} = |\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \gamma_1|; \quad \Delta_{2ХФ} = |\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \gamma_2|;$$

$$\Delta_{1ХФ} = \left| \frac{K_1}{b} - \frac{K_1 - h_1/2}{b} \right| = \frac{h_1}{2b}; \quad \Delta_{ХФ \max} = \frac{H}{2b \cos \left(\arctg \frac{a}{b} \right)}.$$

Промежуток $\arctg \frac{a}{b} \leq \alpha_1 \leq 90^\circ$ показан на рис. 2:

$$\Delta_{1,2ХФ} = \left| \frac{H}{2a \sin \alpha_1} \right|; \quad \Delta_{ХФ \max} = \left| \frac{H}{2a \sin (\arctg (a/b))} \right|;$$

$$\Delta_{ХФ \min} = \max \left(\left| \frac{H}{2b \cos (\arctg (a/b))} \right|; \left| \frac{H}{2a \sin (\arctg (a/b))} \right| \right).$$

Из эргономических требований высота знака $h \geq \left(\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right) lh$ — линейный размер изображения; l — расстояние до изображения; β — угловой размер объекта, для простых знаков — 18 мин, H — толщина знаков. На черном фоне $H_4 = 1/10$ высоты, на белом — $H_6 = \frac{1}{6}$ высоты:

$$H_4 = \frac{l}{10} \operatorname{tg} 9', \quad H_6 = \frac{l}{6} \operatorname{tg} 9'.$$

Прямые будут служить для соединения графических объектов, поэтому можно определить шаг изменения углов:

$$h = \text{Ш}_{\text{зн}}, H = h \cos(\arctg a/b), \Delta\alpha = \arctg\left(\frac{H}{D}\right),$$

где D — диагональ экрана; h — максимальное расхождение.

Набор элементообразующих, необходимых для построения прямой на экране, составляет 6762, для табло размерами $3 \times 1,7$ м. Хранить все прямые не целесообразно, достаточно хранить одну прямую и иметь функцию ее поворота.

Базисные графические объекты. Использование ТКП как результирующего устройства принятия решений не требует высокой точности отображения управленческой информации. Для представления на экране различного рода структур достаточно иметь пять классов графических объектов, набор прямых и символов. Все элементы структур идентифицируются, поэтому измерять графические объекты необходимо в количествах, помещаемых внутри символов. К базисным графическим объектам следует отнести: прямоугольники, окружности, ромбы, треугольники и сегменты.

Прямоугольники. Внутри прямоугольника должен помещаться хотя бы один символ. Расстояние от символа до стороны должно равняться половине высоты символа. Учитывая, что минимальный размер символа 5 см, получается минимальный размер прямоугольника, равный $5 \times 2 = 10$ см. Максимальное число прямоугольников определяется из размеров экрана и равно $((300-10)/10) \times ((170-10)/10) = 464$.

Прямоугольники можно использовать для отображения месячных гистограмм. Если брать их шириной в один символ в виде квадратов, то потребуется дополнительно $31 + 31 = 62$ прямоугольника, где 31 — число месяцев или дней, для которых строится гистограмма, которая может быть вертикальной и горизонтальной. Общее число прямоугольников — 526.

Окружности. Число окружностей ограничено вертикальными размерами экрана и зависит от числа знаков, помещаемых внутри. Один символ с учетом расстояния до сторон занимает минимум 10 см, следовательно, достаточно иметь $170/10 = 17$ окружностей.

Ромбы. Используются как логические блоки и зависят от длины формуляров, записываемых внутри. Минимальная длина формуляра — три символа, максимальная выбирается из условия оптимальности формуляров. Внутри может быть записано максимум три формуляра по семь символов, на связь формуляров требуется еще два символа. Графические построения таких ромбов показали, что острые углы, непригодные для записи в них символов, занимают еще по шесть символов с двух сторон. Следовательно, максимальная длина ромба — 35 символов. Максимальная высота — 5 символов. Шаг

изменения для длины ромба — символ, тогда общее число ромбов равно $35 - 3 = 32$.

Треугольники. На практике используются при построении структур только равносторонние треугольники. Их число ограничено высотой экрана и по количеству совпадает с числом окружностей.

Сегменты. Используются для изображения процентного содержания с небольшим количеством делений. Для отображения процента выполнения плана за месяц по каждому дню сектора непригодны. Они используются для изображения процента выполнения плана за квартал, полугодие, год (в интервале пятилетки). Исходя из этого, можно определить угол минимального сегмента: $(360/6)/6 = 10^\circ$. Получается 36 сегментов данного радиуса. По горизонтали на экране $1,7 \times 3$ м помещается максимум 60 символов. Минимальная длина надписи должна содержать формуляр и его численное значение. Минимальный формуляр — 5 символов. Прибавив пробел и цифру, получаем минимальную длину записи внутри сегмента, равную 7 символов. Максимальная длина записи — 14 символов (длина формуляра 12, один пробел и цифра). Общее число сегментов — $30 \times 17 = 612$ с. Таким образом, для эффективного управления габло коллективного пользования через дисплей достаточно в ОП дисплея хранить 526 прямоугольников, 17 окружностей, 32 ромба, 17 треугольников, 612 сегментов и необходимый набор символов. Кроме этого, необходимо иметь функцию построения прямой по двум точкам, что достигается использованием характеристики фасадов. Для построения с любой структуры гистограммы или плана, используемых в системах управления, на дисплее из меню выбирается необходимый элемент, а световым пером указывается место на экране дисплея, куда он должен быть помещен. Для записи внутри графических объектов информации, а также связи объектов прямыми линиями используются специальные клавиши дисплея с мнемоническим обозначением. После набора необходимого изображения на дисплее оно переносится на экран. Простота общения человека с ТКП в этом случае обеспечивается отказом от традиционных функций с набором аргументов, вводимых с клавиатуры в виде директив.

Использование базисных графических объектов и прямых линий позволяет иметь ограниченный набор управляющих клавишей. К основным из них относятся: просмотр элементов меню, простой и ускоренный через 10 элементов; задание элемента класса с указанием числа символов; перенос элемента с меню на экран дисплея; уничтожение элемента с экрана дисплея; уничтожение элемента с большого экрана; занесение информации внутрь графического объекта; оформление надписей на экране; задание способа адресации (угол верхний, угол нижний, угол левый, угол правый, сторона верхняя,

сторона нижняя, левая сторона, правая сторона, центр, начал
конец); перенос всего изображения на большой экран с дис
плея; очистка экрана.

Заключение. Анализ элементообразующих и диалога оператора с ТКП по
воляет определить общее число информационных и управляющих клавиш
необходимых для управления ТКП через дисплей со световым пером и мен
Информационных клавиш — не более 56 символов, 8 типов прямых, 5 класс
базовых графических объектов, итого не более 69. Управляющих — 3 для
задания способа выбора графического объекта (просмотр, ускоренный просмотр
по числу символов), 11 — для задания способа адресации, 2 — для указани
числа идентификации объектов, 1 — для построения прямой линии, 5 — для
связи дисплея с большим экраном, 5 — записанных, итого не более 27. Общи
число клавиш не превышает ста. При введении нижнего, среднего, верхне
регистров образуется клавиатура обычной пишущей машинки.

Список литературы: 1. Фролов С. А. Кибернетика и инженерная графика. — М
Машиностроение, 1974. — 124 с. 2. Вопросы инженерной психологии в автомо
тизированных системах управления / Под ред. С. Ф. Сафарян. — Л.: Изд-
Ленингр. ун-та, 1972. — 144 с.

Поступила в редколлегию 02.04.81

УДК 519. 25:621. 397

М. А. ИВАНОВ, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЯРКОСТЕЙ

Известно, что вероятность обнаружения и опознавания изо
бражений определяется их энергией E_n и энергией разности ана
лизируемого и эталонного изображений E_Δ [1], причем

$$E_n = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [B(x, y)]^2 dx dy = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M(f_x, f_y)|^2 df_x df_y \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$E_\Delta = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [B_A(x, y) - B_B(x, y)]^2 dx dy = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M_\Delta(f_x, f_y)|^2 df_x df_y \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $B_A(x, y)$, $B_B(x, y)$ — распределение яркости в анализируемом
и эталонном изображениях по декартовым координатам x , y ;
 $M(f_x, f_y)$ — распределение спектра изображения по пространст
венным частотам f_x , f_y в направлении осей x и y (спектр $M(\cdot)$
и яркость $B(\cdot)$ изображения связаны между собой парой двой
ного преобразования Фурье).

Однако при этом, как правило, недостаточно полно учиты
вается степень согласования диапазона яркостей анализируемо
го и эталонного изображений, что становится особенно
существенным при различии условий их формирования.

В целях исследования влияния указанного выше рассогласования введем предположение о том, что сравниваемые изображения имеют N градаций яркости, равномерно распределенных по шкале уровней сигнальной функции. При этом энергию изображения, заключенную между двумя произвольными k -й и l -й ($k, l \in N$; $k < l$) градациями яркости $B^{(k)}$ и $B^{(l)}$, можно определить следующим образом:

$$E_n^{(k,l)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{B^{(k)}}^{B^{(l)}} [B(x, y)]^2 dB \right\} dx dy = \sum_{i=k}^{l-1} E_n^{(i, i+1)} = (l - k) E_n^{(\Delta B)}, \quad (3)$$

где $E_n^{(i, i+1)}$ — парциальная энергия изображения, заключенная между двумя соседними i -й и $(i + 1)$ -й градациями яркости $B^{(i)}$ и $B^{(i+1)}$, причем

$$E_n^{(i, i+1)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{B^{(i)}}^{B^{(i+1)}} [B(x, y)]^2 dB \right\} dx dy = \text{const}(i) \stackrel{\circ}{=} E_n^{(\Delta B)} \quad (4)$$

$$\text{и } \Delta B \stackrel{\circ}{=} B^{(i+1)} - B^{(i)} = \text{const}(i), \quad \forall i \in N; \quad (5)$$

\forall — квантор общности.

Тогда в случае отсутствия нелинейных искажений и ограничений по чувствительности при формировании, передаче и обработке изображений можно получить

$$E_{\Delta} = \left| \left[E_{nA}^{(0,1)} + (N - 1) E_{nA}^{(\Delta B)} \right] - \left[E_{nЭ}^{(0,1)} + (N - 1) E_{nЭ}^{(\Delta B)} \right] \right| = \left| E_{nA}^{(0,1)} - E_{nЭ}^{(0,1)} \right|, \quad (6)$$

де

$$E_n^{(0,1)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_0^{B^{(1)}} [B(x, y)]^2 dB \right\} dx dy. \quad (7)$$

Отсюда следует, в частности, что в рассматриваемом идеализованном случае величина E_{Δ} характеризует различие условий формирования анализируемого и эталонного изображений исследуемых объектов и, в первую очередь, степени их «освещенности». Поэтому найденное значение E_{Δ} может быть непосредственно использовано, например, для нормализации, т. е. приведения к единому началу отсчета по шкале уровней сигнальной функции получаемой и хранимой информации. Из выражений (1), (6) следует также, что при фиксированном значении парциальной энергии $E_n^{\Delta B}$ для улучшения условий обнаружения и опознавания изображений необходимо расширять динамический диапазон их яркостей, т. е. увеличивать число N различных градаций сигнальной функции. В частности, при заданном качестве обнаружения и известной разрешающей способности

измерителя имеется возможность «обмена» между геометрическими параметрами и яркостными характеристиками наблюдаемых объектов, причем

$$\bar{B}_{A_2} \geq \bar{B}_{A_1} + \Delta B \frac{S_1}{S_2},$$

где ΔB — интервал разрешения измерителя по яркости; S_1, S_2 — площадь, занимаемая соответственно первым и вторым объектам (по условию $S_1 > S_2$); $\bar{B}_{A_1}, (\bar{B}_{A_2})$ — усредненные по площади S_1 (S_2) яркость первого (второго) объекта наблюдения. При этом для движущихся (относительно измерителя) пространственно-протяженных объектов, размеры которых сравнимы или превышают площадь элемента разрешения данного измерителя, имеет место так называемый «шум цели» [2,3]. Поэтому для указанного класса объектов наблюдения снижается точность измерения координат и параметров движения, вследствие чего требуется определенный энергетический «запас» по сравнению с условиями обнаружения точечных и/или неподвижных относительно измерителя целей.

На практике, однако, реальные системы формирования, передачи и обработки изображений имеют ограниченный динамический диапазон [4,5], что, в ряде случаев, может привести к внесению линейных и нелинейных искажений в сравниваемые изображения. В частности, чувствительность реальных систем $B^{(1)}$ при заданной максимальной яркости B_{\max} изображения однозначно определяет интервал разрешения ΔB по шкале уровней сигнальной функции (обычно $\Delta B = B^{(1)}$) и, следовательно, максимальное количество различных градаций яркости данного изображения, т. е. $N = [B_{\max}/\Delta B]^*$, где звездочка (*) означает наибольшее целочисленное значение частного, записанного в квадратных скобках. Поэтому снижение чувствительности, например, системы формирования и/или передачи анализируемого изображения приводит к уменьшению числа различных градаций сигнальной функции ($N_{\text{реал}} \leq N_{\text{треб}}$) и к изменению масштаба изображения по шкале яркости, т. е. к снижению его контрастности ($B_{\text{реал}}^{(1)} = \Delta B_{\text{реал}} \geq \Delta B_{\text{треб}} = B_{\text{треб}}^{(1)}$). В количественном отношении это приводит к ухудшению условий обнаружения и опознавания изображения, поскольку происходит уменьшение энергии анализируемого изображения и возрастание энергии разности его с эталонным изображением, т. е.

$$E_{\text{нАреал}} = E_{\text{нАтреб}} - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{B_{\text{треб}}^{(1)}}^{B_{\text{реал}}^{(1)}} [B_A(x, y)]^2 dB \right\} dx dy \leq E_{\text{нАтреб}}$$

$$E'_{\Delta_{\text{реал}}} = E_{\Delta_{\text{треб}}} + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{B_{\text{Атреб}}^{(1)}}^{B_{\text{Ареал}}^{(1)}} [B_{\Lambda}(x, y)]^2 dB \right\} dx dy \geq E_{\Delta_{\text{треб}}}, \quad (9)$$

где второй член в правой части формул (8) и (9) характеризует влияние снижения чувствительности системы формирования и/или передачи анализируемого изображения.

При ограничении сверху динамического диапазона систем формирования, передачи и/или обработки изображений в сравниваемых изображениях возникают нелинейные искажения. Осуществляя формальное обобщение используемого в работе [1] метода математического описания линейных преобразований на класс нелинейных аналитических систем типа Вольтерра-Винера [4], спектр двумерного «сигнала» на выходе данной системы $M_{\text{вых}}(f_x, f_y)$ при известном спектре входного «воздействия» $M_{\text{вх}}(f_x, f_y)$ можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} M_{\text{вых}}(f_x, f_y) &= K \{M_{\text{вх}}(f_x, f_y)\} = M_{\text{вых,лин}}(f_x, f_y) + \\ &+ M_{\text{вых,нел}}(f_x, f_y) \stackrel{\circ}{=} K_{11}(f_x, f_y) M_{\text{вх}}(f_x, f_y) + \\ &+ \left[\sum_{\substack{n=1 \\ n+m=1}}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} K_{n,m}(f_{x_1}, \dots, f_{x_n}; f_{y_1}, \dots, f_{y_m}) \prod_{j=1}^n \prod_{l=1}^m M_{\text{вх}}(f_{x_j}, f_{y_l}) \right]^{\neq}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $K(\cdot)$, $K_{n,m}(\cdot)$ — нелинейный аналитический оператор Вольтерра и характеризующее его ядро Вольтерра $(n+m)$ -го порядка, описывающее нелинейность световых, амплитудных, сенситометрических и т. п. характеристик исследуемой системы с учетом зависимости данных характеристик от пространственных частот, т. е. с одновременным и компактным учетом как нелинейных, так и динамических (инерционных) свойств этой системы; f_{x_i} , f_{y_i} — аргументы многомерного двойного преобразования Фурье; символ (\neq) означает операцию ассоциирования (т. е. объединения) множества комплексных переменных $\{f_{x_i}, f_{y_i}\}$ к исходным аргументам (f_x, f_y) .

При этом также происходит ухудшение условий обнаружения и опознавания изображений, поскольку

$$E_{\Lambda_{\text{реал}}}^* = E_{\Lambda_{\text{треб}}} - \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M_{\Lambda_{\text{вых,нел}}}(f_x, f_y)|^2 dx dy \leq E_{\Lambda_{\text{треб}}}, \quad (11)$$

$$E_{\Delta_{\text{реал}}}^* = E_{\Delta_{\text{треб}}} + \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M_{\Lambda_{\text{вых,нел}}}(f_x, f_y)|^2 dx dy \geq E_{\Delta_{\text{треб}}}. \quad (12)$$

Здесь

$$E_{иА_{\text{треб}}}^{\circ} = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M_{A_{\text{вых лин}}} (f_x, f_y)|^2 dx dy,$$

$$E_{\Delta_{\text{треб}}}^{\circ} = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |M_{\Delta_{\text{вых лин}}} (f_x, f_y)|^2 dx dy.$$

Наличие нелинейных искажений изображения приводит к уменьшению числа различных градаций сигнальной функции, поскольку происходит снижение максимальной яркости изображения $B_{\text{макс реал}} \leq B_{\text{макс треб}}$, и ухудшение восприимчивости системы из-за «нелинейных шумов» $B_{\text{реал}}^{(1)} = \Delta B_{\text{реал}} \geq \Delta B_{\text{треб}} = B_{\text{треб}}^{(1)}$, т.

$$N_{\text{реал}}^* = \left[\frac{B_{\text{макс реал}}}{\Delta B_{\text{реал}}} \right]^* \leq N_{\text{треб}} = \left[\frac{B_{\text{макс треб}}}{\Delta B_{\text{треб}}} \right].$$

Необходимо отметить, что нелинейные процессы в системах формирования, передачи и обработки изображений в ряде случаев могут привести к существенному искажению последних и, в частности, к наложению сравнительно ярких участков изображения на более темные; к изменению контрастных и координатных соотношений между элементами изображения и т. п. Кроме того, наличие нелинейных искажений влечет за собой снижение разрешающей способности системы, что в свою очередь, с учетом соотношения (15) приводит к снижению информативности анализируемых изображений.

Результаты данной работы могут быть использованы для согласования диапазона яркостей и контрастности анализируемых и эталонных изображений, а также для определения требуемого динамического диапазона систем формирования, передачи и обработки изображений, включая вопросы выбора оптимального положения данного динамического диапазона априорной информации о характеристиках образов исследуемых объектов.

Список литературы: 1. Красильников Н. Н. Статистическая теория передачи изображений. — М.: Связь, 1976. — 184 с. 2. Островитянов Р. В., Басалов Ф. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. — М.: Радио и связь, 1982. — 232 с. 3. Бакут П. А., Жулина Ю. В., Иванчук Н. А. Обнаружение движущихся объектов / Под ред. П. А. Бакута. — М.: Сов. радио, 1980. — 288 с. 4. Макаренко Б. И., Иванов М. А. Функциональный метод исследования нелинейных радиотехнических систем. — Радиотехника, 1980, 35, № 4, с. 13—18. 5. Иванов М. А. Некоторые вопросы исследования влияния нелинейных свойств радиоприемного тракта на показатели качества РЛС. — Радиотехника, 1980, вып. 57, с. 39—42.

Поступила в редколлегию 02.02

М. Н. БАЙБАКОВ, В. П. ЗУБРИЛКИН, В. М. ИВАНОВ,
Б. Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук.

ОБ ОЦЕНКЕ ВРЕМЕНИ И ТОЧНОСТИ ВВОДА ОПЕРАТОРАМИ ТЕКСТОВ ОГРАНИЧЕННОГО РУССКОГО ЯЗЫКА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭВМ

Система обработки текстов ограниченного русского языка (ОРЯ) для АСУ динамическими объектами описана ранее¹. Рассмотрение перечня текстовых единиц, из которых формируются предложения ОРЯ, позволяет заключить, что наряду с естественными фразами они содержат конструкции, не используемые в русском языке. Опишем результаты экспериментов, основная цель которых выяснить, насколько естественным является ОРЯ для оператора. Иными словами, определить способность операторов формировать фразы ограниченного русского языка из исходных текстовых единиц и, кроме того, получить количественные данные, характеризующие их деятельность.

Основные допущения, принятые при проведении эксперимента, заключались в следующем.

Объектом ввода являлась совокупность из 100 текстов ОРЯ, каждый из которых представлял собой фразу, состоящую не более чем из трех сегментов (простых предложений).

Операторы в составе трех человек были обучены, т. е. знали понятия и отношения, которые можно использовать, и правила формирования текстов ОРЯ из исходных языковых единиц.

Эксперимент протекал так. Испытуемым с использованием терминала типа пишущей машинки последовательно предлагалось осуществить ввод текстов, принадлежащих к исходной совокупности и произвольно выбранных руководителем эксперимента. Смысл текста доводился до испытуемого в устной форме средствами естественного языка, после чего запускался счетчик времени. Оператор, восприняв смысл текста, мысленно формировал соответствующую фразу ОРЯ и осуществлял ее ввод. По окончании ввода состояние счетчика времени и допущенные ошибки фиксировались. Операторам давалась установка работать на точность. Эксперимент проводился в течение 10 сеансов по 20 мин. каждый.

Результаты эксперимента в виде гистограммы распределения нормированного времени ввода текста (по оси отложено отношение времени ввода текста к количеству знаков в нем) представлены на рис. 1. На этом же рисунке показана сглажива-

¹ Байбаков М. Н., Судаков Б. Н. Система обработки текстов ограниченного русского языка.— См. статью в настоящем сборнике.

ющая кривая, соответствующая частному случаю β -распределения с плотностью вероятности вида:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{12(t - T_{\min})(T_{\max} - t)^2}{(T_{\max} - T_{\min})^3}; & T_{\min} < t < T_{\max}, \\ 0; & t \leq T_{\min}, t \geq T_{\max}, \end{cases}$$

где T_{\max} , T_{\min} — параметры распределения, соответствующие максимальному и минимальному значению, которое может принимать случайная величина t . Для случая, показанного на рис. 1, $T_{\min} = 0,27$ с., $T_{\max} = 0,46$ с., а среднее время $T_{\text{ср}}$ и среднее квадратическое отклонение σ составляют 0,35 с. и 0,038 с. Ответственно гипотеза о принадлежности выборки к β -распределению

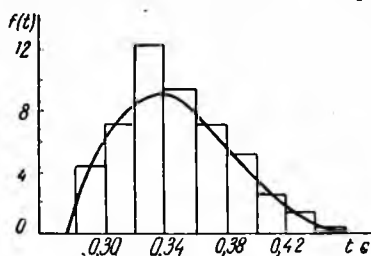


Рис. 1. Распределение нормированного времени ввода текста ограниченного русского языка

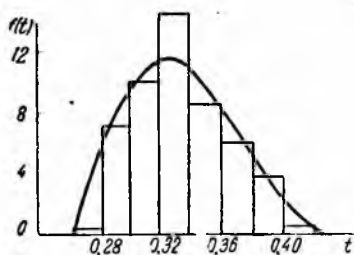


Рис. 2. Распределение нормированного времени ввода текста русского языка

делению проверялась по критерию χ^2 . Для $\chi^2 = 4,79$ и шести степеней свободы вероятность P того, что величина, распределенная по закону χ^2 , превзойдет полученное расхождение, составила 0,57. Это говорит о том, что принятая гипотеза не противоречит наблюдениям.

Чтобы сделать вывод, насколько ОРЯ естественен для оператора, с той же группой испытуемых был проведен эксперимент, аналогичный рассмотренному. Отличием являлось то, что тексты, которые они должны были вводить, синтаксически и семантически полностью соответствовали естественным фразам русского языка. Исходные понятия и отношения, из которых формировались фразы, были такими же, как в предыдущем эксперименте. Для этого случая на рис. 2 приведены гистограмма и сглаживающая кривая, описываемая выражением (1). При этом $T_{\min} = 0,27$ с., $T_{\max} = 0,43$ с., $T_{\text{ср}} = 0,33$ с., $\sigma = 0,032$ с. Величина χ^2 составила 3,26, что также позволяет судить о достаточно хорошем совпадении экспериментального и теоретического распределений ($P = 0,66$ для 5 степеней свободы).

Точность работы оператора при вводе информации определялась как вероятность безошибочного ввода символа из выражения

$$Q = 1 - \frac{K_{\mu}}{K_{\sigma}}$$

где K_n — количество ошибочных символов; K_o — общее число введенных символов. Значение $Q = 0,996$ в первом и $0,997$ — во втором эксперименте. На основе этой величины была рассчитана вероятность безошибочного ввода текста P_T как функция его длины n . Зависимость $P_T = f(n)$ для первого и второго эксперимента (кривые 1 и 2) представлена на рис. 3.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Из сравнения рис. 1 и 2 следует, что оператор легко формирует предложения ОРЯ из исходных текстовых единиц, практически не затрачивая времени на перекодирование информации. Это свидетельствует о естественности фраз ОРЯ и возможности его использования операторами при взаимодействии с ЭВМ.

Вероятность безошибочного ввода текста естественного и ограниченного русского языка невысока. Поэтому при взаимодействии с ЭВМ оператор должен иметь возможность исправлять допущенные ошибки, т. е. иметь терминал, снабженный средствами редактирования текста.

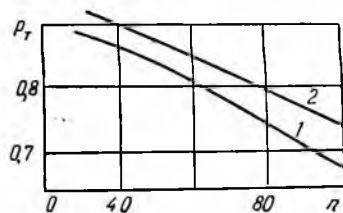


Рис. 3. Зависимость вероятности безошибочного ввода текста от его длины

Поступила в редколлегию 05.04.84.

УДК 631.3.01

М. Н. БАЙБАКОВ,
Б. Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук

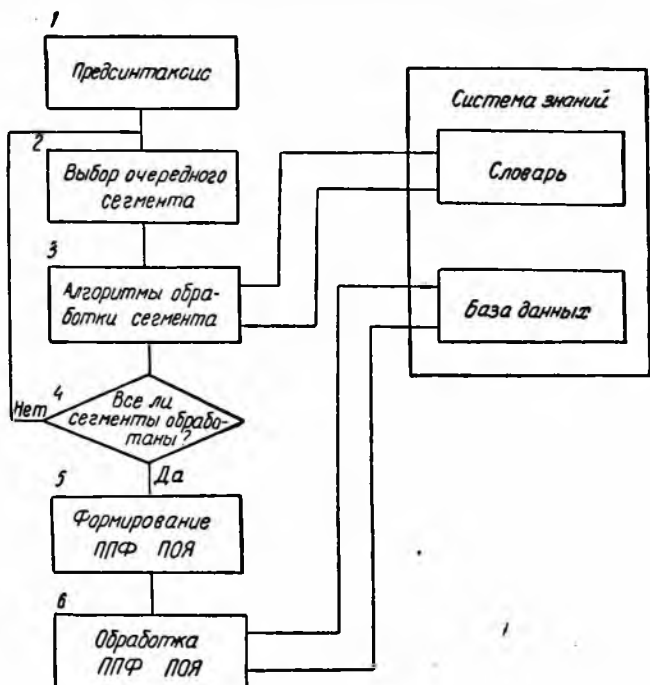
СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ ОГРАНИЧЕННОГО РУССКОГО ЯЗЫКА

В работе [1] описана формализованная модель ограниченного русского языка (ОРЯ) для взаимодействия пользователя ЭВМ в АСУ динамическими объектами. В соответствии с моделью, ограниченный русский язык — это структура, поверхностный компонент которой формально задан с использованием ересьев синтаксического подчинения, семантический компонент представлен предложениями проблемно-ориентированного языка (ПОЯ), основанного на расширенном исчислении предикаов первого порядка с множеством предметных областей.

Система обработки текстов (СОТ) этого языка показана на рисунке. Входным текстом для СОТ являются простые распространенные предложения русского языка (сегменты) в форме вопросов, директив и декларативных предложений. Сложные высказывания формируются из сегментов за счет их связи интенциональными связками. Система отвечает на вопросы

пользователя, выполняет действия в соответствии с директиво декларативные предложения служат для пополнения и изменения системы знаний СОР. Ниже приведены основные тексты единицы сегмента, воспринимаемые системой.

1. <Словоформа> ::= <Существительное> | <Прилагательное> | <Отглагольное существительное> | <Гл



Структура системы обработки текстов ограниченного русского языка

гол> | <Наречие> | <Аббревиатура> | <Модальное слово> | <Буквенная константа> | <Кванторное слово> | <Предлог> | <Не> | <Вопросительное слово> |

<„> | <.> | <?> | <!> | <Число> | <Ч> | <М>;

<Число> ::= <Последовательность цифр>;

<Цифра> ::= 0|1|2|3|4|5|6|7|8|9|;

<Прилагательное> ::= <Прилагательное> | <Причастие>;

<Глагол> ::= <Глагол> | <Краткое причастие>;

<Ч> ::= <Час>;

<М> ::= <Минута>;

2. <Именная группа> ::= <С> | <П С> | <Число П С> | <Число С> |

<К П С> | <К С> | <Пр К П С> | <Пр К С> | <Пр Чис-
 ло П С> |
 <Пр Число С> | <Пр П С> | <Пр С> | <Не Пр К П С> |
 <Не К П С> |
 <Не Пр К С> | <Не П С> | <Не К С> | <Не Пр П С> |
 <Вс П С> | <Вс С> | <Пр Вс П С> | <Вс Не П С> |
 <Пр Вс Не П С> | <Пр Вс С>;
 <Вс> ::= <Какой X, Y> | <Сколько Z>;
 <С> ::= <С «ИМЯ»>;
 <Имя> ::= <Кн> | <Кн...> | <Аббревиатура> | <Аб-
 бревиатура Кн> |
 <Аббревиатура Кн...>;
 <Кн> ::= <Буквенная константа> | <Число>.

3. <Предикат> ::= <Г инф.> | <Г л. ф.> | <Г кр.пр.> |
 <Предикат W>
 <W> ::= <Наречие> | <ИГ г.>;
 <ИГ г.> ::= <С о> | <П С о> | <Пр Со>;
 <ГП> ::= <Не Предикат>;
 <ГМП> ::= <М с Предикат> | <Мс Не Предикат> |
 <Не М С Предикат>; <Предикат> ≠ <Гл.Ф.и>;

Здесь: С — существительное; П — прилагательное; К — кван-
 торное слово; Пр — предлог; Не — отрицательная частица; Вс —
 вопросительное слово; индексы X, Y, Z указывают, что слово-
 форма имеет род X, число Y, падеж Z; и — цепочка слов; Со —
 углагольное существительное; ГП — группа предиката; ГПМ —
 группа предиката модальная; МС — модальное слово; Гинф. —
 глагол в форме инфинитива; Гл. ф. — глагол в личной форме;
 Гкр. пр. — краткое причастие.

В процессе трансляции текстов ОРЯ целесообразно выде-
 лять 2 этапа: первый связан с задачей преобразования текстов
 ограниченного русского языка на ПОЯ; второй — с обработ-
 кой правильно-построенной формулы (ППФ) ПОЯ в соответст-
 вии с типом входного предложения (вопрос, директива, декла-
 тивное предложение).

В составе СОТ можно выделить блоки, связанные с реали-
 зацией алгоритмов каждого из отмеченных этапов обработки
 текстов и систему знаний: о реальном мире — базу данных, о
 русском языке — словарь. Охарактеризуем отмеченные компо-
 ненты СОТ.

В соответствии со структурой ПОЯ [1] для описания про-
 цессов реального мира необходимо задать множество непересе-
 кающихся предметных областей; определить отношения между
 элементами этих множеств; установить способ проверки истин-
 ности каждого такого отношения.

Формирование множества предметных областей (классифи-
 кация понятий) осуществлено путем порождения дерева, узла-
 ми которого являются имена понятий, а корень содержит все
 множество понятий, подлежащих классификации. При таком

подходе предметная переменная ПОЯ характеризуется именем соответствующего класса, а конкретный объект, кроме этого, порядковым номером, выделяющим его из множества элементов класса.

Всю совокупность отношений между объектами реального мира можно рассматривать как базовые и производные. Будем считать базовые отношения неопределяемыми, выступающими как нечто первичное, а производные представлять в виде композиции базовых. Термин «базовое отношение» является чисто условным. Причисление того или иного отношения к базовым или производным определяется задачами практики. В работе по ситуационному управлению [2] указывается, что всю совокупность связей между объектами реального мира можно выразить с помощью примерно 200 бинарных отношений. Если строить универсальную систему, то совокупность этих отношений можно было бы принять в качестве базовых. Вместе с тем в рамках специфических задач, решаемых конкретной АСУ, состав базовых могут войти отношения, не являющиеся базовыми в рассмотренном выше смысле. Так, в целях более компактного представления модели реального мира в базе данных либо в силу нецелесообразности разложения отношений на более элементарные в рассматриваемой системе эти отношения могут быть отнесены к числу базовых.

На ПОЯ отношение между n предметами есть n -местный предикат $F(x_1^{a_1}, x_2^{a_2}, \dots, x_n^{a_n})$, где $a_i, i = \overline{1, n}$ — имена предметных областей. Назовем базовым или первичным предикат, если в базе данных содержится программа проверки его истинности (программа означивания). В соответствии со сказанным, производное отношение можно представить как композицию первичных предикатов: $F_1(x_1^{a_1}, x_2^{a_2}, \dots, x_n^{a_n}) \circ \dots \circ F_{k-1}(Y_1^{\beta_1}, Y_2^{\beta_2}, \dots, Y_m^{\beta_m}) \equiv D_i F_k(x_1^{a_1}, x_2^{a_2}, \dots, x_n^{a_n}, \dots, Y_1^{\beta_1}, Y_2^{\beta_2}, \dots, Y_m^{\beta_m}), F_i, i = \overline{1, k-1}$ — первичные предикаты; F_k — производный предикат — определено \circ — аналог сентенциональной связки. Подобное представление позволяет порождать новые понятия и отношения, основываясь на уже известной системе множестве базовых.

В пропозициональном исчислении предикаты рассматривают только с точки зрения их истинности или ложности. Вместе с тем, директива, введенная оператором, должна побудить систему выполнить некоторое действие или их совокупность.

Для описания действий средствами ПОЯ они характеризуются именем действия и именами участников ситуации, определенной действием; условиями осуществления действия; результатом действия — событием, которым оно завершается. Каждое элементарное действие свяжем с программой, которая выполняется в случае истинности предикатов, соответствующих условиям его осуществления, а сложное действие будем рассматри

ать как совокупность элементарных. Подобное представление позволяет описывать средствами ПОЯ различные тексты ОРЯ.

В словаре представлена синтаксическая и семантическая информация словоформ русского языка, необходимая для обработки текстов. Рассмотрим функционирование СОТ. Алгоритмы первого этапа реализуются в блоках 1—5. На этапе предсинтаксиса производится предварительная обработка текста, целью которой — выделение начала и конца сегмента, служебных слов (<!>, <?>, <·>) и размещение информации в виде, удобном для дальнейшей обработки; морфологический анализ словоформ сегментов, заключающийся в отождествлении их с информацией словаря и приписывании им соответствующей грамматической и семантической информации, используемой в дальнейшем.

В блоках 2—4 осуществляется последовательная обработка сегментов, включающая: построение дерева синтаксического подчинения на словоформах фразы; замену поверхностных синтаксических отношений глубинными; формирование предложения ПОЯ, соответствующего сегменту.

В блоке 5 производится сборка ППФ ПОЯ из ППФ сегментов с использованием «разметки» текста, выполненной на этапе предсинтаксиса.

С целью уменьшить варианты разбора входного текста на этапе синтаксического анализа осуществляется широкое привлечение семантики.

В блоке 6 производится означивание ППФ ПОЯ в соответствии с алгоритмом, описанным в [3].

СОТ запрограммирована на языке *PL/I*. Объем памяти, занимаемой программами, составил 120 К байт. Время реакции системы на предложение ОРЯ из 15—20 слов составляет 40с на ЭВМ ЕС-1030.

Источники литературы: 1. *Судаков Б. Н.* О формализованной модели языка для имодействия пользователя с ЭВМ.— Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 43—47. 2. *Поспелов Д. А., Пушкин В. Н.* Мышление и автоматы.— М.: Сов. радио, 1978, с. 224. 3. *Рось А. А., Судаков Б. Н.* Языковое обеспечение вопросно-ответных систем.— Пробл. бионики, 1980, вып. 24, с. 16—22.

Поступила в редколлегию 05.04.84.

◀ 519.714.71

С. В. ЯКОВЛЕВ, канд. физ.-мат. наук., С. Н. ГЕРАСИН

МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ОДНОГО КЛАССА БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ С УЧЕТОМ ПРЕДИКАТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Рассмотрим множество X логических переменных x_1, x_2, \dots . Обозначим через A_x множество, элементами которого являются всевозможные подмножества X . Каждому элементу E из

A_X можно поставить в соответствие конъюнкцию K_E и дизъюнкцию D_E элементов из E .

Пусть задан двоичный предикат, определенный на A_X , и удовлетворяющий следующим условиям: если $E^1, E^2 \in A_X, E^1 \subset E^2$ то из

$$P(E^1) = 0 \Rightarrow P(E^2) = 0, \quad (1)$$

$$P(E^2) = 1 \Rightarrow P(E^1) = 1. \quad (2)$$

Предположим, что задана логическая функция F , представленная в виде конъюнктивной нормальной формы (к. н. ф.)

$$F = \bigwedge_{i=1}^l D_{E_i^1}, \quad (3)$$

где $D_{E_i^1}$ — дизъюнкция элементов из $E_i^1 \subset A_X$. Данной к. н. ф. соответствует дизъюнктивная нормальная форма (д. н. ф.)

$$F = \bigvee_{i=1}^l K_{E_i^2}. \quad (4)$$

Здесь $K_{E_i^2}$ — некоторые конъюнкции элементов из $E_i^2 \subset A_X$.

Представление (4) эквивалентно следующему:

$$F = F_1 \vee F_2, \quad (5)$$

где F_1 — дизъюнкция таких конъюнктов, входящих в (4), для которых $P(K_{E_i^2}) = 1$, а F_2 — дизъюнкция таких конъюнктов из (4), для которых $P(K_{E_i^2}) = 0$.

Рассмотрим задачу определения F_1 по заданному представлению (3). Тривиальный подход к решению этой задачи состоит в следующем. Перемножим все дизъюнкты $D_{E_i^1}$ с последующим применением операций поглощения. Затем выделим все конъюнкты $K_{E_i^2}$, для которых предикат $P(K_{E_i^2})$ равен 1.

Такой подход применим, если число переменных, входящих в (3), невелико. Кроме того, он не учитывает свойств (1), (2) предиката, которые позволяют предложить более эффективные методы решения поставленной задачи.

Приведем алгоритм, построенный на схеме отсечения и учитывающий свойства (1), (2).

Будем последовательно перемножать дизъюнкты $D_{E_i^1}$, входящие в (3). На k -м шаге после перемножения k дизъюнктов будет получена д. н. ф., которую мы назовем промежуточной д. н. ф., а конъюнкты, входящие в нее, — промежуточными конъюнктами.

Обозначим через m_k — число промежуточных конъюнктов, полученных на k -м шаге, а через n — число переменных.

Положим, что $E_i^1 = \{x_{p_i^1}, x_{p_i^2}, \dots, x_{p_i^{m_i}}\}$. Пусть i -й промежуточный конъюнкт имеет вид $x_{q_1} \wedge x_{q_2} \wedge \dots \wedge x_{q_s}$.

Поставим ему в соответствие n -мерный вектор, у которого на p_i -х местах ($i = \overline{1, r}$) стоят единицы, а на остальных нули. Совокупность таких векторов-строк составит булеву матрицу C . Таким образом, мы построили взаимно-однозначное соответствие между произвольной промежуточной д. н. ф. и булевой матрицей. На первом шаге матрица C состоит из m_i строк, все элементы i -й строки равны нулю, кроме p_i -го места.

Пусть на k -м шаге получена промежуточная д. н. ф., которой соответствует булева матрица $C = \|c_{ij}\|_{m_k \times n}$. Рассмотрим $(k+1)$ -й шаг. Перемножим заданную промежуточную д. н. ф. на дизъюнкт $D_{E_{k+1}^1}$. Тогда

$$D_{E_{k+1}^1} = x_{p_{k+1}^1} \vee x_{p_{k+1}^2} \vee \dots \vee x_{p_{k+1}^{m_{k+1}^1}}$$

Поставим в соответствие каждой строке матрицы C характеристическое число ω по следующему правилу: $\omega = -1$, если j -я строка содержит единицы хотя бы на двух из $p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^{m_j^1}$ местах, т. е. $\exists i, r_1, r_2, \dots, r_l$ $c_{ip_i^{r_1}} = 1, c_{ip_i^{r_2}} = 1$; $\omega = 0$, если j -я строка содержит единицы на всех $p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^{m_j^1}$ местах, т. е. $c_{ip_i^l} = 0 \quad \forall i = \overline{1, m_j^1}$; $\omega = 1$, если j -я строка содержит единицу на p_i^l месте, т. е. $\exists i: p_i^l = 1, c_{ip_i^l} = 0 \quad \forall i \neq l$.

Алгоритм будет использовать следующие очевидные соображения. Во-первых, если данный промежуточный конъюнкт имеет метку, отличную от нуля, то он не умножается ни на одну из переменных с индексом $p_{k+1}^1, p_{k+1}^2, \dots, p_{k+1}^{m_{k+1}^1}$. Действительно, такие метки означают, что рассматриваемый конъюнкт содержит хотя бы одну из переменных $x_{p_{k+1}^i}, i = \overline{1, m_{k+1}^1}$, тем самым нам

потребуется в дальнейшем осуществлять операции поглощения.

Во-вторых, если j -й промежуточный конъюнкт имеет метку 0, то он умножается на переменную $x_{p_{k+1}^i}$ в том случае, когда ос-

тальные конъюнкты не имеют метку i (поскольку иначе произойдет поглощение конъюнктом с меткой i домноженного конъюнкта); для любого s -го конъюнкта с меткой i единицы j -й строки покрывают единиц s -й строки, кроме, быть может, i -го места.

Рассмотрим, как преобразуется матрица C при переходе от одного шага алгоритма к другому. Будем последовательно выбивать промежуточные конъюнкты, входящие в данную промежуточную д. н. ф. При перемножении каждого конъюнкта $K_{E_i^2}$ на

переменную $x_{p_{k+1}^i} \in E_{k+1}^1$ в соответствии с указанными выше правилами получим новый промежуточный конъюнкт

$$K_{E_a^2} = x_{p_{k+1}^i} \wedge K_{E_i^2}$$

Если $P(E_1^2) = 1$, то формируем новую дополнительную строку матрицы C . Эта строка будет отличаться от строки, соответствующей конъюнкту $K_{E_1^2}$, единицей на p_{k+1}^i -месте.

Если $P(E_1^2) = 0$, то дополнительная строка не формируется. Те строки, соответствующие которым конъюнкты домножали на $x_{p_{k+1}^i}$, после $(k+1)$ -го шага исключаются.

По окончании t -го шага будет получена матрица C , которая соответствует искомая д. н. ф.

Теорема 1. Если к. н. ф., переменные которой имеют одинаковый индекс, преобразовать в д. н. ф. в соответствии с законами дистрибутивности и операциями поглощения, то полученная д. н. ф. будет единственной, минимальной и кратчайшей.

Доказательство. Пусть булева функция f задана в виде к. н. ф.:

$$f = D_{E_1^1} \wedge D_{E_2^1} \wedge \dots \wedge D_{E_t^1}.$$

Используя законы дистрибутивности и операции поглощения преобразуем исходную к. н. ф. в д. н. ф., получим

$$f = K_{E_1^2} \vee K_{E_2^2} \vee \dots \vee K_{E_t^2}.$$

Здесь $K_{E_j^2} = z_{i1} \wedge z_{i2} \wedge \dots \wedge z_{is_i}$, где z_{ij} , $j = \overline{1, s_i}$ булевы переменные, $s_i \leq t$.

Покажем, что полученная д. н. ф. является сокращенно т. е. в представление (7) входят все простые импликанты функции.

Рассмотрим произвольную простую импликанту

$$I_k = z_{k1} \wedge z_{k2} \wedge \dots \wedge z_{kn}.$$

Пусть $z_{k2} = z_{k3} = \dots = z_{kn} = 1$. Тогда $f \neq 1$. Действительно, если бы $f = 1$, то выражение $z_{k2} \wedge z_{k3} \wedge \dots \wedge z_{kn}$ было бы импликантой f , а значит, импликанта I_k не является простой. Следовательно, никакая импликанта, отличная от I_k , не представима в виде $z_{k2} \wedge z_{k3} \wedge \dots \wedge z_{kn}$ (на любом наборе z_{ki} , $i = \overline{2, n}$, $f = 1$). Это означает, что хотя бы один дизъюнкт $D_{E_r^1}$, $r = \overline{1, t}$

в выражении (6) не содержит переменных $z_{k2}, z_{k3}, \dots, z_{kn}$.

Не теряя общности, положим $r = 1$. Допустим, что все $z_{ki} = 1$, $i = \overline{1, n}$. Тогда учитывая, что переменные, входящие в импликанту I_k , имеют одни и те же индексы, получим $f = 1$. Это означает, что $D_{E_1^1} = D_{E_2^1} = \dots = D_{E_m^1} = 1$, т. е. каждый из дизъюнктов содержит хотя бы один из элементов $z_{k1}, z_{k2}, \dots, z_{kn}$.

Поскольку в дизъюнкт $D_{E_1^1}$ не входят переменные вида z_{kj} , $j = \overline{2, n}$, то он содержит переменную z_{k1} . Используя аналоги

ые рассуждения, можно показать, что z_{k2} входит в $D_{E_2^1}$, z_{k3} — в $D_{E_3^1}$ и так далее z_{kn} — в $D_{E_n^1}$. Это, в свою очередь, означает, что в представлении (7) будет содержаться простая импликанта I_k вида (8).

Поскольку выбор простой импликанты I_k осуществлялся произвольно, то выражение (7) содержит все свои простые импликанты, т. е. является сокращенной д. н. ф. Известно [1], что использование операций поглощения при преобразовании д. н. ф. в д. н. ф. приводит к тупиковой (относительно этих операций) д. н. ф., которая, как показано выше, должна совпадать с сокращенной д. н. ф. Однако сокращенная д. н. ф. булевой функции f единственная. Кроме того, все минимальные и кратчайшие д. н. ф. содержатся среди тупиковых [1]. Следовательно, полученная д. н. ф. является минимальной и кратчайшей.

На основании теоремы 1 вытекает

Теорема 2. В результате работы предложенного алгоритма строится минимальное и кратчайшее представление д. н. ф. F_1 , причем единственное.

Доказательство. Предложенный алгоритм позволяет использованием специально введенных характеристических чисел последовательно производить операции поглощения. Следовательно, если не выполнять отсечений, использующих предельные ограничения, то в силу доказанной выше теоремы будет получена единственная, минимальная и кратчайшая д. н. ф. Представим ее в виде (5).

Предположим, что существует другая, отличная от F , д. н. ф. вида $F' = F_1' \vee F_2'$, где F_1' — д. н. ф., для конъюнктов которой соответствующий предикат равен единице, а F_2' — д. н. ф., для конъюнктов которой предикат равен нулю.

Поскольку д. н. ф. F кратчайшая, то все конъюнкты, входящие в F , будут входить и в F' . Следовательно, конъюнкты, входящие в F_1 , будут также входить в F_1' , т. е. представление вида F_1 является минимальным и кратчайшим. Единственность F_1 следует из единственности F .

Замечание. Если $P(E) = 1$ для любого $E \in A_x$, то предложенный алгоритм является, по существу, методом минимизации д. н. ф.

Рассмотрим применение предложенного алгоритма к решению задач аналитического описания областей сложной геометрической формы [2]. Часто возникает необходимость аналитического описания области дополнения к объектам заданной геометрической формы. Будем считать, что исходная область многосвязна, причем каждая компонента связности может быть описана системой линейных неравенств. Каждую такую систему обозначим через S_i . Тогда исходная область S представима в виде объединения систем. Перенумеруем неравенства. В этом случае

S характеризуется д. н. ф., заданной в виде (3), в каждый из конъюнктов которой входят переменные с индексами, соответствующими номерам неравенств образующих системы S_i . Дополнение к области S будет характеризоваться к. н. ф., полученной применением правил де Моргана к исходной д. н. ф. При этом под отрицанием переменной x_i будем понимать переменную с тем же индексом, которому соответствует неравенство с номером i противоположного смысла. Для решения практически задач дополнение к исходной области требуется представить в виде объединения систем, т. е. необходимо произвести преобразование к. н. ф. в д. н. ф. Для решения этой задачи может быть предложен описанный выше подход. При этом предикатные ограничения будут характеризовать совместность систем линейных неравенств. Будем полагать, что предикат равен 1, если соответствующая система линейных неравенств совместна, и 0 — в противном случае. Такой предикат удовлетворяет свойствам (1)–(2). Заметим, что для проверки совместности системы линейных неравенств существует алгоритм полиномиальной сложности [3].

Проиллюстрируем работу алгоритма на следующем примере.

В таблице даны исходная нумерация линейных неравенств, коэффициенты при переменных и свободные члены. Неравенство с номером i имеет вид $a_i x + b_i y + c_i z + d_i < 0$.

Коэффициент	Номер i											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_i	-1	0	0	1	0	0	-1	-1	1	1	0	0
b_i	0	-1	0	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0
c_i	0	0	-1	0	0	1	0	1	0	-1	1	-1
d_i	0	0	0	-5	-4	-6	4	2	3	3	2	4

Пусть исходная область S задана в виде объединения областей, описываемых системами линейных неравенств, которым отвечает логическая формула в виде д. н. ф.:

$$F^* = x_1 x_2 x_3 \vee x_2 x_3 x_4 x_9 x_{10} \vee x_1 x_3 x_5 x_7 x_{12} \vee x_3 x_4 x_5 x_{10} x_{12} \vee x_1 x_2 x_6 x_8 x_{11} \vee x_2 x_4 x_6 x_9 x_{11} \vee x_1 x_5 x_6 x_7 x_8 \vee x_4 x_5 x_6.$$

Дополнение к области S будет характеризоваться логической формулой в виде к. н. ф.:

$$F = \bar{F}^* = (x_{\bar{1}} \vee x_{\bar{2}} \vee x_{\bar{3}}) (x_{\bar{2}} \vee x_{\bar{3}} \vee x_{\bar{4}} \vee x_{\bar{9}} \vee x_{\bar{10}}) (x_{\bar{1}} \vee x_{\bar{3}} \vee x_{\bar{5}} \vee x_{\bar{7}} \vee x_{\bar{12}}), (x_{\bar{3}} \vee x_{\bar{4}} \vee x_{\bar{5}} \vee x_{\bar{10}} \vee x_{\bar{12}}) (x_{\bar{1}} \vee x_{\bar{2}} \vee x_{\bar{6}} \vee x_{\bar{8}} \vee x_{\bar{11}}) (x_{\bar{2}} \vee x_{\bar{4}} \vee x_{\bar{6}} \vee x_{\bar{9}} \vee x_{\bar{11}}), (x_{\bar{1}} \vee x_{\bar{5}} \vee x_{\bar{6}} \vee x_{\bar{7}} \vee x_{\bar{8}}) (x_{\bar{4}} \vee x_{\bar{5}} \vee x_{\bar{6}}).$$

Черточка над индексом переменной $x_{\bar{i}}$ означает, что ей соответствует неравенство с номером i , но противоположного знака.

Поэтому в дальнейшем черточку будем опускать и полагать, что матрица коэффициентов, приведенных в таблице, соответствует неравенствам $a_ix + b_iy + c_iz + d_i > 0$.

При использовании предложенного алгоритма последовательно были получены следующие промежуточные д. н. ф.:

Шаг 1. $x_1 \vee x_2 \vee x_3$

Шаг 2. $x_1x_{10} \vee x_2 \vee x_3 \vee x_1x_4$

Шаг 3. $x_1x_{10} \vee x_2x_{12} \vee x_3 \vee x_1x_9 \vee x_1x_2 \vee x_2x_7$

Шаг 4. $x_1x_{10} \vee x_2x_{12} \vee x_3 \vee x_1x_9x_{12} \vee x_2x_7x_{10}$

Шаг 5. $x_1x_{10} \vee x_2x_{12} \vee x_3x_{11} \vee x_1x_9x_{12} \vee x_2x_7x_{10} \vee x_1x_3 \vee x_2x_3 \vee x_3x_8$

Шаг 6. $x_1x_{10}x_{11} \vee x_2x_{12} \vee x_3x_{11} \vee x_1x_9x_{12} \vee x_2x_7x_{10} \vee x_1x_3x_9 \vee$
 $\vee x_2x_3 \vee x_3x_8x_9 \vee x_1x_2x_{10} \vee x_1x_9x_{10}$

Шаг 7. $x_1x_{10}x_{11} \vee x_2x_8x_{12} \vee x_3x_8x_{11} \vee x_1x_9x_{12} \vee x_2x_7x_{10} \vee$
 $\vee x_1x_3x_9 \vee x_2x_3x_8 \vee x_3x_8x_9 \vee x_1x_2x_{10} \vee x_1x_9x_{10} \vee$
 $\vee x_1x_2x_{12} \vee x_1x_3x_{11} \vee x_3x_7x_{11} \vee x_1x_2x_3 \vee x_2x_3x_7$

Шаг 8. $x_1x_5x_{10}x_{11} \vee x_2x_4x_8x_{12} \vee x_3x_4x_7x_{11} \vee x_1x_6x_9x_{12} \vee$
 $\vee x_2x_6x_7x_{10} \vee x_3x_5x_8x_9$

Итак, полученная на последнем шаге д. н. ф. является иско-
 мой. Каждому ее конъюнкту соответствует система неравенств,
 которая совместна, а номерам неравенств соответствуют индек-
 сы переменных, входящих в конъюнкт. Время решения задачи
 на ЭВМ ЕС 1030 составило 2 с.

Источники литературы: 1. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику.
 М.: Наука, 1979.— 272 с. 2. Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые
 приложения.— К.: Наук. думка, 1982.— 552 с. 3. Хачиян Л. Г. Полиноми-
 лый алгоритм в линейном программировании.— Докл. АН СССР, 1979,
 № 5, с. 1093—1096.

Поступила в редколлегию 12.01.84.

ДК 510.62

Э. ИЦКОВ, Д. Э. СИТНИКОВ, С. Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ПРЕДИКАТЫ n -МЕРНОЙ ЛИНЕЙНОСТИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

При моделировании работы органов чувств по методу нуля-
 гана [1, с. 66] используются свойства различных бинарных пре-
 дикатов. В настоящей статье описываются свойства так называ-
 емых предикатов n -мерной линейности. Пусть дано произволь-
 ное множество A . Предикатом эквивалентности на множестве A
 назовем любую функцию $E(x, y)$, определенную на декартовом

произведении $A \times A$, принимающую значения из множества $\{0, 1\}$ и обладающую следующими свойствами: 1) $E(x, x) = 1$ для любого $x \in A$ — рефлексивность; 2) если $E(x, y) = 1$, то $E(y, x) = 1$ для любых $x, y \in A$ — симметричность; 3) если $E(x, y) = E(y, z) = 1$, то $E(x, z) = 1$ для любых $x, y, z \in A$ — транзитивность.

Пусть A — вещественное евклидово пространство размерности m ($m < \infty$). Скалярное произведение векторов x, y из A будем обозначать так: $x \circ y$. Введем норму в пространстве A $\|x\| = \sqrt{x \circ x}$. Линейным функционалом на A назовем любой функционал $f: A \rightarrow R$, аддитивный и непрерывный. Предикатом n -мерной линейности ($n < m$) назовем любой предикат E , заданный на A , который может быть представлен в виде

$$E(x, y) = D(Fx, Fy).$$

Здесь D — предикат равенства; $Fx = (x \circ a_1, x \circ a_2, \dots, x \circ a_n)$; $\{a_i\}_{i=1}^n$ — система линейно независимых векторов из A .

Предикат E назовем аддитивным, если из $E(x, y) = E(u, v) = 1$ следует $E(x + u, y + v) = 1$ для любых x, y, u, v из A . Предикат E назовем n -мерным, если существует система векторов $\{l_i\}_{i=1}^n$ из A такая, что для каждого $x \in A$ найдется единственный набор вещественных чисел $(\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x))$, удовлетворяющий условию

$$E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i\right) = 1.$$

Если функционалы $\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)$ непрерывны в A , предикат E назовем непрерывным.

Теперь сформулируем и докажем теорему об условиях существования предиката n -мерной линейности.

Теорема 1. Для того чтобы предикат E был предикатом n -мерной линейности, необходимо и достаточно, чтобы он был рефлексивным, симметричным, транзитивным, аддитивным, n -мерным и непрерывным.

Доказательство Необходимость. Пусть $x_1, x_2, y_1, y_2 \in A$ таковы, что $E(x_1, y_1) = E(x_2, y_2) = 1$. Это означает, что при любом $i = 1, 2, \dots, n$, $x_1 \circ a_i = y_1 \circ a_i$, $x_2 \circ a_i = y_2 \circ a_i$. Складывая левые и правые части этих равенств, получаем $(x_1 + x_2) \circ a_i = (y_1 + y_2) \circ a_i$, что означает $E(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1$. Аддитивность предиката E доказана.

Докажем n -мерность предиката E . Примем в качестве векторов l_1, l_2, \dots, l_n , фигурирующих в условиях n -мерности, соответственно векторы e_1, e_2, \dots, e_n , образующие ортонормированный базис линейной оболочки векторов a_1, a_2, \dots, a_n . Требование n -мерности предиката E теперь заключается в том, чтобы уравнение

$$E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i e_i\right) = 1$$

2, ..., n). Так как предикат E непрерывен, непрерывны и функционалы $\alpha_i(x)$. Таким образом, функционалы $\alpha_i(x)$ аддитивны и непрерывны, т. е. линейны.

Любой линейный функционал $\alpha(x)$ на A может быть представлен в виде $\alpha(x) = x \circ d$ [2], где d — некоторый вектор из A . Значит, найдутся векторы $a_1, a_2, \dots, a_n \in A$ такие, что

$$\alpha_1(x) = x \circ a_1, \quad \alpha_2(x) = x \circ a_2, \quad \dots, \quad \alpha_n(x) = x \circ a_n. \quad (8)$$

Далее докажем, что равенство $E(x, y) = 1$ и система равенств $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) равносильны. Предположим, что $E(x, y) = 1$, тогда из (4) и (5), учитывая симметричность и транзитивность предиката E , выводим

$$E\left(y, \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i\right) = 1.$$

Учитывая равенство (5) и используя свойство единственности значений коэффициентов при всех l_i , находим $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Обратно, если $\alpha_i(x) = \alpha_i(y)$ при всех $i = 1, 2, \dots, n$, то

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i(y) l_i.$$

Отсюда, а также из (4) и (5), пользуясь симметричностью и транзитивностью предиката E , получаем $E(x, y) = 1$.

Докажем теперь линейную независимость векторов a_1, a_2, \dots, a_n . С этой целью установим сначала, что функционалы $\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)$ линейно независимы, т. е. что уравнение

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \alpha_i(x) = 0 \quad (9)$$

выполняется для всех x лишь в том случае, когда все числа γ_i равны нулю. Если равенство (9) выполняется для любых $x \in A$, то оно должно быть справедливым и для $x = \sum_{i=1}^n \gamma_i l_i$. В силу рефлексивности предиката E имеем

$$E\left(x, \sum_{i=1}^n \gamma_i l_i\right) = 1.$$

Сравнивая последнее равенство с (4) и учитывая единственность числовых множителей при всех l_i (по n -мерности предиката E), получаем $\alpha_i(x) = \gamma_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Подставив значения функционалов $\alpha_i(x)$ в (9), приходим к уравнению

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i^2 = 0,$$

из которого следует, что $\gamma_i = 0$ для всех $i = 1, 2, \dots, n$, что

означает линейную независимость функционалов $\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)$. Рассмотрим теперь уравнение

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i a_i = 0.$$

Из этого уравнения следует, что

$$\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i a_i \right) \circ x = 0$$

или

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i a_i \circ x = \sum_{i=1}^n \lambda_i a_i(x) = 0.$$

В силу линейной независимости функционалов $\alpha_i(x)$ все λ_i равны нулю. Значит, векторы a_1, a_2, \dots, a_n линейно независимы. Теперь, учитывая (8), можно утверждать, что предикат E может быть представлен в виде (1), т. е. является предикатом n -мерной линейности. Теорема доказана.

Ниже доказывается, что среди свойств предиката E , указанных в теореме 1, имеются лишние свойства.

1) Из симметричности, транзитивности и n -мерности предиката вытекает его рефлексивность.

Действительно, из n -мерности предиката E вытекает, что для любого $x \in A$ найдется вектор $y = \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i$ такой, что $E(x, y) = 1$. В силу симметричности $E(y, x) = 1$. В силу транзитивности $E(x, x) = 1$.

2) Из рефлексивности, аддитивности и n -мерности предиката E вытекает его симметричность.

Действительно, из аддитивности и n -мерности предиката E вытекает аддитивность функционалов $\alpha_i(x)$ (см. доказательство теоремы 1). Пусть $E(x, y) = 1$. По свойству рефлексивности имеем $E(-y, -y) = 1$. В силу аддитивности $E(x - y, 0) = 1$. Из свойства n -мерности следует

$$E\left(x - y, \sum_{i=1}^n \alpha_i(x - y) l_i\right) = 1. \quad (10)$$

Значения $\alpha_1(x - y) = \alpha_2(x - y) = \dots = \alpha_n(x - y) = 0$ обращают уравнение (10) в тождество. В силу единственности этих значений и аддитивности функционалов α_i имеем

$$\alpha_i(x) = \alpha_i(y) \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (11)$$

Из аддитивности функционалов α_i и из равенств (11) вытекает

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i(y - x) l_i = \sum_{i=1}^n (\alpha_i(y) - \alpha_i(x)) l_i = 0.$$

Таким образом, $E(y - x, 0) = 1$. По свойству рефлексивности $E(x, x) = 1$. Наконец, в силу аддитивности $E(y, x) = 1$.

3) Из рефлексивности и аддитивности предиката E вытекает его транзитивность.

Действительно, пусть $E(x, y) = E(y, z) = 1$. Тогда в силу аддитивности, $E(x+y, y+z) = 1$. В силу рефлексивности $E(-y, -y) = 1$. Окончательно, по свойству аддитивности $E(x, z) = 1$.

Из теоремы 1 и трех только что доказанных утверждений вытекают два следствия.

С л е д с т в и е 1. Для того чтобы бинарный предикат, заданный на пространстве A , был предикатом n -мерной линейности, необходимо и достаточно, чтобы он обладал свойствами рефлексивности, аддитивности и непрерывности.

С л е д с т в и е 2. Для того чтобы бинарный предикат, заданный на пространстве A , был предикатом n -мерной линейности, необходимо и достаточно, чтобы он обладал свойствами симметричности, транзитивности, n -мерности и непрерывности.

Можно ли еще сократить найденные системы характеристических признаков предиката n -мерной линейности? Ответ на этот вопрос дает следующая

Теорема 2. Системы свойств предиката E , фигурирующие в следствиях 1 и 2, несократимы.

Доказательство. Для доказательства независимости каждого свойства от остальных достаточно привести пример предиката E , для которого это свойство не выполняется, а остальные свойства выполняются.

В дальнейшем будем полагать, что $\{l_k\}_{k=1}^m$ — ортонормированный базис пространства A ; x_i — координаты вектора x в этом базисе.

Лемма 1. Из симметричности, рефлексивности, транзитивности и аддитивности предиката E не следует его n -мерность.

Пусть $E(x, y) = D(x, y)$, где D — предикат равенства. Рефлексивность, симметричность, транзитивность и аддитивность E очевидны. Рассмотрим произвольные векторы пространства A l_1, l_2, \dots, l_n и их линейную оболочку. Фиксируем вектор x вне этой линейной оболочки, что всегда возможно, так как размерность A больше n . Тогда для любого $y = \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i$

$$E(x, y) = D\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i\right) = 0.$$

Значит, предикат E не n -мерен. Лемма доказана.

Лемма 2. Из рефлексивности, симметричности, транзитивности и непрерывности предиката E не вытекает его аддитивность.

Пусть $E(x, y) = D((\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)), (\alpha_1(y), \alpha_2(y), \dots, \alpha_n(y)))$, где $\alpha_i(x) = x_i(1 + x_{n+1})$. Функционалы $\alpha_i(x)$ неаддитивны.

В этом можно убедиться, положив $x = \sum_{i=1}^n l_i$. Тогда $\alpha_i(x+x) \neq$

$\neq \alpha_i(x) + \alpha_i(x)$. Значит, предикат E неаддитивен. Очевидно, этот предикат рефлексивен, симметричен и транзитивен. Кроме того, $\alpha_i(\sum_{k=1}^n \alpha_k(x) l_k) = \alpha_i(x) (1 + 0) = \alpha_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Значит, $E(x,$

$\sum_{k=1}^n \alpha_k(x) l_k) = 1$. Из последнего равенства, а также из определения функционалов $\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)$ вытекают n -мерность и непрерывность предиката E . Лемма доказана.

Лемма 3. Из рефлексивности, симметричности, транзитивности, аддитивности и n -мерности предиката E не вытекает его непрерывность.

Положим $E(x, y) = D((\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)), (\alpha_1(y), \alpha_2(y), \dots, \alpha_n(y)))$, где $\alpha_i(x) = x_i + f(x_{n+1})$; f — аддитивная, но не непрерывная функция [3]. Построение такой функции можно осуществить, используя базис Хамеля в линейном пространстве вещественных чисел над полем рациональных чисел. Этот процесс приводит к множеству $s = \{r_\alpha\}$ действительных чисел r_α таких, что всякое действительное число x является единственной линейной комбинацией конечного числа элементов из s с рациональными коэффициентами p_α : $x = p_{\alpha_1} r_{\alpha_1} + \dots + p_{\alpha_k} r_{\alpha_k}$. Функцию f можно определить так: $f(x) = p_{\alpha_1} + \dots + p_{\alpha_k}$, поскольку представление числа x в виде линейной комбинации единственно. Аддитивность f следует непосредственно из ее определения, а тот факт, что f не является непрерывной, вытекает из того, что она не обладает свойством Коши. Очевидно, предикат E рефлексивен, симметричен и транзитивен. Он также аддитивен в силу того, что функционалы $\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_n(x)$ аддитивны.

Для любой аддитивной функции f выполняется равенство $f(0) = 0$ ($f(0 + 0) = f(0) + f(0) = 2f(0) = f(0)$):

$$\alpha_i \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k(x) l_k \right) = \alpha_i(x) + f(0) = \alpha_i(x).$$

Значит, $E(x, \sum_{k=1}^n \alpha_k(x) l_k) = 1$. Из последнего равенства, а также из определения функционалов $\alpha_i(x)$ следует n -мерность E . Но $\alpha_i(x)$ не непрерывны. Значит, предикат E не непрерывен. Лемма доказана.

Лемма 4. Из транзитивности, аддитивности, n -мерности и непрерывности предиката E не вытекает его симметричность.

Положим $E(x, y) = D(F(x), G(y))$, где $F(x) = (x_1, x_2, \dots, x_n, 0)$, $G(x) = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1})$. Возьмем x и y такие, что $x_i = y_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), $x_{n+1} \neq 0$, $y_{n+1} = 0$. Тогда $E(x, y) = 1$, $E(y, x) = 0$. Значит, предикат E несимметричен. Из того, что $E(x, y) = E(y, z) = 1$, следует, что $x_i = y_i = z_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), $z_{n+1} = 0$. Значит, $E(x, z) = 1$, что говорит о транзитивности предиката E . Из того, что $E(x, y) = 1$, следует, что $x_i = y_i$ ($i =$

$= 1, 2, \dots, n$), $y_{n+1} = 0$. Из того, что $E(u, v) = 1$, следует, что $u_i = v_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), $v_{n+1} = 0$. Окончательно получаем $E(x + u, y + v) = 1$. Значит, предикат E аддитивен. Пусть $\alpha_i(x) = x_i$. Тогда $E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i\right) = 1$. Из определения функционалов и последнего равенства следуют n -мерность и непрерывность предиката E . Лемма доказана.

Лемма 5. Из симметричности, аддитивности, n -мерности и непрерывности предиката E не вытекает его транзитивность.

Положим $E(x, y) = D(p(x), -p(y))$, где $p(x) = (x_1, x_2, \dots, \dots, x_n)$. Очевидно, этот предикат симметричен, аддитивен, но не транзитивен. Положим $\alpha_i(x) = -x_i$. Тогда $E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) l_i\right) = 1$. Из определения функционалов $\alpha_i(x)$ и последнего равенства вытекают n -мерность и непрерывность предиката E . Лемма доказана.

Доказав эти пять лемм, мы тем самым доказали теорему 2.

Распространим полученные результаты на тот случай, когда пространство A является бесконечномерным вещественным евклидовым пространством. Очевидно, теорема 1 верна и в этом случае, так как ее доказательство нигде не опирается на тот факт, что пространство A конечномерно. Лемма 1 по этой же причине остается верной. Для доказательства справедливости лемм 2—5 (в случае бесконечномерного A) достаточно для каждой леммы рассмотреть предикат $\Pi(x, y) = E(px, py)$, где px, py — ортогональные проекции векторов x, y на m -мерное ($m > n$) подпространство L пространства A ; предикат E задан на L и обладает теми же свойствами, что и предикат E , фигурирующий в доказательствах этих лемм для случая конечномерного A . Итак, полученные результаты верны для пространства A любой размерности, большей n .

Наконец, рассмотрим случай, когда размерность A равна n . Теорема 1 верна и в этом случае. Но количество характеристических свойств значительно сокращается. Покажем, что из рефлексивности и n -мерности предиката E вытекают все остальные свойства. Действительно, в этом случае любые векторы x, y , из A представляют собой линейные комбинации некоторых базисных векторов l_1, l_2, \dots, l_n :

$$x = \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i, \quad y = \sum_{i=1}^n \beta_i l_i.$$

Предположим, что $E(x, y) = E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i\right) = 1$. Тогда, учитывая рефлексивность E и единственность числовых множителей при векторах l_i , получаем: $y = x$. Из этого следует, что предикат E является предикатом равенства, а значит, обладает свойствами симметричности, транзитивности, аддитивности и непрерывности.

Из n -мерности не следует рефлексивность E . Для доказательства этого утверждения рассмотрим предикат $E(x, y) = D(x, -y)$. Очевидно, он является n -мерным и нерефлексивным. Из рефлексивности не следует n -мерности. Для доказательства достаточно положить $E(x, y)$ тождественно равным единице. Предикат E в этом случае рефлексивен и не n -мерен (так как существует бесконечно много наборов α_i , таких, что

$$E\left(x, \sum_{i=1}^n \alpha_i l_i\right) = 1.$$

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Начала теории интеллекта: Проблемы и перспективы.— Рукопись деп. в ВИНТИ, № 3324—82.— 210 с. 2. Люстерник Л. А., Соболев В. И. Элементы функционального анализа.— М.: Наука, 1965.— 520 с. 3. Гелбаум Б., Олмстед Дж. Контрпримеры в анализе.— М.: Мир, 1967.— 251 с.

Поступила в редколлегию 02.04.84.

УДК 514.174

В. Я. ВИНАРСКИЙ, М. В. НОВОЖИЛОВА

Ф-ОТОБРАЖЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Во многих прикладных задачах геометрического проектирования, распознавания зрительных образов, обработки пространственных сигналов и т. д. важным является построение математического описания сложных геометрических объектов. При этом возникает необходимость аналитического описания континуальных наборов исходных областей с введенными теоретико-множественными операциями.

К этой проблеме сводится задача построения эквидистантных линий и областей, ими ограничиваемых, построения описания годографа вектор-функции плотного размещения в геометрическом проектировании, составления уравнения сгибающей семейства кривых и др.

В работе выделяется некоторый класс отображений, названный классом Φ -отображений, применение которого позволяет получать описания объединения и пересечения бесконечных наборов множеств, что расширяет круг решаемых прикладных задач.

Введем понятие Φ -отображения. Рассмотрим отображение $L: A \rightarrow E^1$, действующее из линейного пространства A в пространство E^1 действительных чисел.

Пусть пространство A некоторым отношением эквивалентности \sim_A разбито на семейство классов $\{A_\alpha\}$, а пространство E^1 разбито на семейство классов $\{E_\beta\}$, порождающее отношение эквивалентности \sim_E .

Определение 1. *Отображение L назовем Φ -отображением, если*

$$\forall \alpha \forall a_1, a_2 \in A_\alpha \exists \beta L a_1, L a_2 \in E_\beta^1, \quad (1)$$

или в терминах отношений эквивалентности

$$\forall a_1, a_2 \in A (a_1 \overset{A}{\sim} a_2 \Rightarrow L a_1 \overset{E}{\sim} L a_2). \quad (2)$$

Иначе говоря, Φ -отображение — это отображение, сохраняющее отношение эквивалентности, т. е. такое отображение, у которого изменение аргумента в пределах произвольного класса эквивалентности A_α не выводит значение Φ -отображения из некоторого класса E_β .

Φ -отображение L индуцирует некоторое отображение $\tilde{L}: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$ семейства классов пространства A в семейство классов пространства E^1 .

Рассмотрим пространство $\{L\}$ Φ -отображений $L: A \rightarrow E^1$ с заданными разбиениями $\{A_\alpha\}$ и $\{E_\beta^1\}$ пространств A и E^1 соответственно. Разобьем пространство $\{L\}$ на классы $\{L_\gamma\}$ следующим образом. К одному классу отнесем Φ -отображения L_1 и L_2 в том случае, если

$$\forall a \in A \exists \beta L_1 a, L_2 a \in E_\beta^1, \quad (3)$$

или в терминах отношений эквивалентности

$$\forall a \in A L_1 a \overset{E}{\sim} L_2 a. \quad (4)$$

Иначе говоря, Φ -отображения одного класса любой элемент пространства A переводят в совпадающие классы пространства E^1 . Отображения $\tilde{L}_1: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$ и $\tilde{L}_2: \{A_\alpha\} \rightarrow \{E_\beta^1\}$, индуцируемые отображениями L_1 и L_2 одного класса, совпадают: $\tilde{L}_1 = \tilde{L}_2$.

Рассмотрим некоторые частные класса Φ -отображений, действующих из пространства C_D непрерывных на ограниченном множестве $D \subset E^m$ функций в пространство E^1 .

Пусть G_1 — унарный предикат, задаваемый формулой

$$\forall a \in E^1 G_1(a) = \begin{cases} 1, & a > 0, \\ 0, & a \leq 0, \end{cases}$$

В качестве разбиения множества E^1 на классы $\{E_\beta^1\}$ выберем разбиение $\{(-\infty]; (0, +\infty)\}$, порождаемое предикатом G_1 , обозначив его $E^1 | G_1$.

Рассмотрим пространство непрерывных функций C_D , задаваемых на некотором ограниченном множестве $D \subset E^m$. На пространстве C_D введем отношение эквивалентности следующим образом:

$$\forall f_1, f_2 \in C_D [(f_1 \overset{\cdot}{\sim} f_2) \leftrightarrow (\forall x \in D G_1\{f_1(x)\} = G_2\{f_2(x)\})]. \quad (5)$$

Такое разбиение на классы эквивалентности обозначим через $\overset{\cdot}{\sim}$.

Определение 2. *Пространство Φ -отображений $L: C_D \rightarrow E^1$ с выбранными разбиениями C_D/\sim пространства C_D и E^1/G_1 пространства E^1 назовем пространством Φ_D -отображений и обозначим через Φ_D . Элементы пространства Φ_D назовем Φ_D -отображениями.*

Согласно (1), (5) Φ_D -отображение $L: C_D \rightarrow E^1$ удовлетворяет соотношению

$$\forall f_1, f_2 \in C_D (\forall x \in D G_1 \{f_1(x)\} = G_1 \{f_2(x)\}) \Rightarrow (G_1 \{L f_1\} = G_1 \{L f_2\}). \quad (6)$$

В соответствии с (4) Φ -отображения L_1, L_2 отнесем к одному классу, если $\forall f \in C_D G_1 \{L_1 f\} = G_1 \{L_2 f\}$.

Определение 3. *Назовем отображение $L: C_D \rightarrow E^1$ Φ_D^* -отображением, если*

$$\forall f \in C_D (\exists x \in D f(x) > 0) \leftrightarrow (G_1 \{L f\} = 1). \quad (7)$$

Таким образом, Φ_D^* -отображение любой функции, имеющей хотя бы в одной точке области определения D строго положительное значение, ставит в соответствие число, большее нуля, остальным функциям из C_D Φ_D^* -отображение ставит в соответствие число, меньшее или равное нулю.

Легко показать, что Φ_D^* -отображение удовлетворяет условию (1) и, значит, является Φ -отображением, а множество всех Φ_D^* -отображений удовлетворяет условию (4) и, следовательно, образует класс Φ_D^* -отображений в пространстве Φ_D -отображений.

В качестве представителя класса Φ_D^* -отображений рассмотрим отображение, которое обозначим символом V и определим равенством

$$\forall f \in C_D V f(t) = \int_D (f(t) + \sqrt{f(t)^2}) dt = \begin{cases} a > 0, & \exists t \in D f(t) > 0, \\ 0, & \forall t \in D f(t) \leq 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\int_D (\cdot) dt$ — интеграл по области D ; dt — элемент объема области D .

Отображение V всюду на C_D непрерывно в силу непрерывности операции интегрирования.

Отметим, что отображение V удовлетворяет выражению (7) и поэтому действительно является Φ_D^* -отображением.

Введенные Φ_D^* -отображения представляют практический интерес.

Пусть имеется континуальный набор областей $\{A_t\}$, ($t \in D$, $D \subset E^m$, $A_t \subset E^n$, D — ограничено), объединение которых ограничено. Кроме того, пусть имеется непрерывная по совокупности аргументов функция $f(x, t)$, ($x \in E^n$, $t \in D$) такая, что для любого

фиксированного $t^* \in D$ $f(x, t)$ является аналитическим описанием [1] области A_{t^*} , т. е.

$$\forall x \in A_{t^*} f(x, t^*) \geq 0; \quad \forall x \in C \cap A_{t^*} f(x, t^*) < 0,$$

где C — символ операции теоретико-множественного дополнения, $Cl A$ — замыкание множества A в пространстве E^n .

Теорема 1. *Функция $\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t)$ ($x \in E^n$) непрерывно по x на всем пространстве E^n , является аналитическим описанием области $\bigcup_{t \in D} A_t$ и удовлетворяет системе неравенств*

$$\forall x \in \bigcup_{t \in D} A_t \quad \varphi(x) > 0; \quad \forall x \in C \cap \bigcup_{t \in D} A_t \quad \varphi(x) = 0. \quad (10)$$

Доказательство. Зафиксируем некоторую точку $\tilde{x} \in E^n$.

Тогда $f(\tilde{x}, t)$ — непрерывная по t функция. При этом, если $x \in \bigcup_{t \in D} A_t$, то существует $t \in D$, для которого $f(x, t) > 0$, и тогда

в силу (9) $\varphi(\tilde{x}) = \bigvee_{t \in D} f(\tilde{x}, t) > 0$ (существование $\varphi(\tilde{x})$ тривиально следует из ограниченности множества $\bigcup_{t \in D} A_t$ и области D).

Если же $\tilde{x} \in C \cap \bigcup_{t \in D} A_t$, то $\forall t \in D \quad f(\tilde{x}, t) \leq 0$, и в соответствии

с (9) $\varphi(\tilde{x}) = \bigvee_{t \in D} f(\tilde{x}, t) > 0$. Справедливость (10) доказана.

Покажем, что функция $\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t)$ непрерывна по $x \in$

E^n . Действительно, так как функция $f(x, t)$ непрерывна, то бесконечно малое изменение аргумента x бесконечно мало изменит значение функции $f(x, t)$ в метрике пространства C_D . Так как отображение \bigvee непрерывно, то такое изменение $f(x, t)$ приведет к бесконечно малому изменению функции $\varphi(x)$, что и доказывает ее непрерывность.

Зачастую возникает необходимость получения аналитического описания границы $\Gamma = Fr \bigcup_{t \in D} A_t$ объединения континуального набора $\{A_t\}_{t \in D}$ областей A_t .

Для этого предложим следующее. Функция $\varphi(x) = \bigvee_{t \in D} f(x, t)$ непрерывна, поэтому при стремлении точки x к границе $Fr \bigcup_{t \in D} A_t$ таким образом, что x не выводит из области $\bigcup_{t \in D} A_t$, функция $\varphi(x)$ стремится к ± 0 . Если число $\varepsilon > 0$ достаточно мало, то уравнение

$$\bigvee_{t \in D} f(x, t) = \varepsilon > 0 \quad (11)$$

задает кривую $\Gamma_\varepsilon \subset \bigcup A_t$, сколь угодно малоотличимую от границы Γ области $\bigcup_{t \in D} A_t$ (утверждение можно сформулировать строго: $\forall x \in \Gamma_{\rho_{E^n}}(x, \Gamma_\varepsilon) \rightarrow 0$, где $\Gamma_\varepsilon = \{x \mid \bigvee_{t \in D} V f(x, t) = \varepsilon\}$; здесь $\rho_{E^n}(x, A)$ — расстояние от точки x до множества A в метрике пространства E^n).

Рассмотрим еще один класс Φ -отображений.

Пусть G_2 — унарный предикат, задаваемый соотношением

$$\forall a \in E^1 \quad G_2(a) = \begin{cases} 1, & a \geq 0, \\ 0, & a < 0. \end{cases}$$

В качестве разбиения пространства E^1 на классы $\{E^1_\beta\}$ выберем $\{(-\infty, 0), [0, +\infty)\}$, порождаемое предикатом G_2 , и обозначим его через E^1/G_2 .

На пространстве C_D непрерывных функций, заданных на ограниченном множестве $D \subset E^n$, введем в рассмотрение отношение эквивалентности \sim

$$(f_1 \sim f_2) \leftrightarrow (\forall x \in D \quad G_2\{f_1(x)\} = G_2\{f_2(x)\}). \quad (12)$$

Таким образом, в один класс эквивалентности попадают те функции из C_D , у которых значения для любого выбранного значения аргумента либо одновременно отрицательны, либо одновременно неотрицательны. Описанное разбиение C_D на классы эквивалентности обозначим через C_D/\sim .

Определение 4. Пространство $L: C_D \rightarrow E^1$ с выбранными разбиениями C_D/\sim пространства C_D и E^1/G_2 пространства E^1 назовем пространством $\hat{\Phi}_D$ -отображений и обозначим через $\hat{\Phi}_D$. Элементы пространства $\hat{\Phi}_D$ назовем $\hat{\Phi}_D$ -отображениями.

Согласно (1), (12), $\hat{\Phi}_D$ -отображение $L: C_D \rightarrow E^1$ должно удовлетворять требованию

$$\forall f_1, f_2 \in C_D \quad (\forall x \in D \quad G_2\{f_1(x)\} = G_2\{f_2(x)\}) \Rightarrow (G_2\{Lf_1\} = G_2\{Lf_2\}). \quad (13)$$

Выделим один класс пространства $\hat{\Phi}_D$.

Определение 5. Назовем отображение $L: C_D \rightarrow E^1$ $\hat{\Phi}_D$ -отображением, если

$$\forall f \in C_D \quad \{\forall x \in D \quad f(x) \geq 0\} \leftrightarrow \{G_2\{Lf\} = 0\}. \quad (14)$$

$\hat{\Phi}_D$ -отображение любой неотрицательной функции из C_D сопоставляет отрицательное число, остальным функциям оно ставит в соответствие неотрицательное число. Нетрудно показать, что

$\hat{\Phi}_D^*$ -отображение является $\hat{\Phi}_D$ -отображением, а множество всех $\hat{\Phi}_D^*$ -отображений образует класс пространства $\hat{\Phi}_D$.

В качестве представителя класса $\hat{\Phi}_D^*$ -отображений рассмотрим следующее $\hat{\Phi}_D^*$ -отображение, которое обозначим через Λ :

$$\Lambda f(t) = \int_D \{f(t) - \sqrt{f^2(t)}\} dt = \begin{cases} 0, & \forall t \in D \ f(t) \geq 0; \\ a < 0 \ \exists t \in D \ f(t) < 0. \end{cases} \quad (15)$$

Отображение Λ удовлетворяет формуле (14) и поэтому действ-

ительно является $\hat{\Phi}_D^*$ -отображением. $\hat{\Phi}_D^*$ -отображения можно применять для аналитического описания пересечения континуального набора множеств.

Пусть имеется континуальный набор замкнутых областей $\{A_t\}$ ($t \in D$, $D \subset E^m$, $A_t \subset E^n$, D — ограничено). Непрерывная по совокупности аргументов функция $f(x, t)$ ($x \in E^m$, $t \in D$) для любого фиксированного $t^* \in D$ $f(x, t^*)$ является аналитическим описанием области A_{t^*} .

Теорема 2. Функция $\varphi(x) = \bigwedge_{t \in D} f(x, t)$ непрерывна по \bar{x} на всем пространстве E^n и является аналитическим описанием пересечения набора областей $\bigcap_{t \in D} A_t$, т. е.

$$\forall x \in \bigcap_{t \in D} A_t \ \varphi(x) = 0, \quad \forall x \in \bigcap_{t \in D} A_t \ \varphi(x) < 0.$$

Доказательство этой теоремы аналогично доказательству теоремы 1.

Методика получения уравнения границы пересечения континуального набора множеств аналогична описанной выше методике для случая объединения областей. Но при пересечении областей кривая $\text{Fr} \bigcap_{t \in D} A_t$ задается уравнением $\bigwedge_{t \in D} f(x, t) = \varepsilon < 0$ и лежит вне множества $\bigcap_{t \in D} A_t$.

Рассмотрим некоторые примеры приложений Φ -отображений в задачах оптимального размещения геометрических объектов.

Пример 1. Применение Φ -отображений позволяет получить аналитическое описание эквидистант [2, 3] для кривых, заданных параметрически.

Пусть имеется кривая φ в пространстве E^2 , заданная параметрически: $x = f_1(t)$; $y = f_2(t)$; $t \in [a, b]$.

Требуется составить уравнение эквидистанты Γ_r кривой φ , т. е. множества точек, удаленных от φ на расстояние r . Γ_r является границей объединения континуального набора кругов радиуса r

с центрами, лежащими на точечном образе [4] кривой φ . Этот набор можно описать следующим образом:

$$\{O(\bar{x}, \bar{y})(r)\}_{\substack{\bar{x}=f_1(t) \\ \bar{y}=f_2(t) \quad t \in [a, b]}}$$

где $O(\bar{x}, \bar{y})(r)$ — круг радиуса r с центром в точке (\bar{x}, \bar{y}) .

Аналитическим описанием круга $O(\bar{x}, \bar{y})$ является функция $[r^2 - (x - \bar{x})^2 - (y - \bar{y})^2]$. Приближенное уравнение кривой Γ , имеет вид

$$\bigvee_{t \in [a, b]} [r^2 - (x - f_1(t))^2 - (y - f_2(t))^2] - \varepsilon = 0 \quad (16)$$

или

$$\int_a^b \{r^2 - (x - f_1)^2 - (y - f_2)^2 + \sqrt{r^2 - (x - f_1)^2 - (y - f_2)^2}\} dt = \varepsilon. \quad (17)$$

Множество, ограниченное эквидистантой Γ_r , описывается неравенством

$$\bigvee_{t \in [a, b]} [r^2 - (x - f_1(t))^2 - (y - f_2(t))^2] > 0. \quad (18)$$

Пример 2. Теория Φ -отображений позволяет получить аналитическое представление годографа вектор-функции плотного размещения Г.Ф.П.Р. [3], а также определить условия взаимного пересечения [3] для широкого класса объектов.

Пусть имеются два связанных объекта A_1, A_2 с полюсами O_1, O_2 . Центральную симметрию объекта A_2 относительно полюса O_2 обозначим через A_2^- . Границы объектов A_1, A_2, A_2^- обозначим соответственно через $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_2^-$.

Пусть имеется аналитическое описание объекта $A_1: \varphi_1(x, y)$, параметрическое описание границы Γ_1 объекта A_1 ,

$$x = f_1(t), \quad y = f_2(t), \quad t \in [a, b],$$

и аналитическое описание объекта $A_2: \varphi_2(x, y)$. Тогда аналитическим описанием объекта A_2^- будет функция $\varphi_2(-x, -y)$.

В работе [5] показано, что Г. Ф. П. Р. объекта A_2 относительно объекта A_1 есть граница множества $A_1 \oplus A_2^-$, где символ \oplus означает операцию сложения Минковского [5]. Далее

$$A_1 \oplus A_2^- = (\Gamma_1 \oplus A_2^-) \cup A_1. \quad (19)$$

Обозначим искомый Г. Ф. П. Р. через Γ . Тогда $\Gamma = \text{Fr} \{(\Gamma_1 \oplus A_2^-) \cup A_1\}$. Сформулируем аналитическое описание множества $(\Gamma_1 \oplus A_2^-) \cup A_1$. Множество $(\Gamma_1 \oplus A_2^-)$ представляет собой объединение континуального набора транслянтов множества A_2^- , таких,

что полюс O_2 лежит на Γ_1 . Таким образом, согласно формуле (10) описанием множества $(\Gamma_1 \oplus A_2^-)$ является функция

$$\bigvee_{t \in D} \varphi_2(-x, -f_1(t), -y, -f_2(t)).$$

Аналитическим описанием множества $(\Gamma_1 \oplus A_2^-) \cup A_1$ является функция $[\bigvee_{t \in [a,b]} \varphi_2(-x - f_1(t), -y - f_2(t)) \vee \alpha \varphi_1(x, y)]$, поэтому при ближайшем аналитическом описании Г. Ф. П. Р. объекта A_1 относительно A_1 служит уравнение

$$[\bigvee_{t \in [a,b]} \varphi_2(-x - f_1(t), -y - f_2(t))] \vee \alpha \varphi_1(x, y) - \varepsilon = 0. \quad (20)$$

Условие взаимного пересечения объектов A_1 и A_2 запишется в виде

$$[\bigvee_{t \in [a,b]} \varphi_2(-x - f_1(t), -y - f_2(t))] \vee \alpha \varphi_1(x, y) > 0. \quad (21)$$

В работе приведены лишь некоторые перспективные направления исследований по применению Ф-отображений. Авторам представляется возможным использовать теорию Ф-отображения и во многих других задачах геометрического проектирования [6].

Список литературы: 1. Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения.— К.: Наук. думка, 1982.— 552 с. 2. Рвачев В. Л. Методы алгебры логики в математической физике.— К.: Наук. думка, 1974.— 241 с. 3. Стоян Ю. Г., Гиль Н. И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов.— К.: Наук. думка, 1976.— 247 с. 4. Кроуэлл Р., Фокс Р. Введение в теорию узлов.— М.: Мир, 1967.— 348 с. 5. Стоян В. Г., Пономаренко Л. Д. Сумма Минковского и годограф вектор-функции плотного размещения.— Докл. АН УССР, Сер. А, 1977, № 10, с. 888—889. 6. Винарский В. Я., Новосильца М. В. Построение и регуляризация Ф-функций в задачах геометрического проектирования.— Рукопись деп. в ВИНТИ, № 3962-83.— 18 с.

Поступила в редколлегию 27.03.88

УДК 681.142.2

А. А. РОСЬ, канд. техн. наук,
Ю. Г. БОГДАНОВ, А. Н. КОСИНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКА ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Одним из основополагающих принципов современного программирования является принцип модульности, когда программы разрабатываются и реализуются в виде совокупности составных частей, называемых модулями. При написании больших по объему программ использование этого принципа, как правило, единственно возможный метод программирования [1]. Это объясняется тем, что принцип модульности предполагает расчленение

сложной программы на ряд составляющих ее программных модулей, каждый из которых разрабатывать и отлаживать значительно легче.

Особенно эффективно использование этого принципа при разработке прикладного программного обеспечения АСУ, диалоговых автоматизированных систем, систем сбора и обработки информации и др. При этом можно выделить два этапа: разработка и автономная отладка программных модулей; сборка модулей в единый программный комплекс, реализующий некоторый алгоритм, и отладка этого алгоритма. Если разработка и отладка программных модулей особых трудностей не вызывает, то сборка большого количества программных модулей в единый комплекс, несмотря на большое число работ в этой области [2—4], — достаточно сложная задача. Мы предлагаем автоматизировать процесс отладки топологической корректности разрабатываемого алгоритма и сборки из программных модулей единого комплекса, реализующего этот алгоритм, на основе представления алгоритмов в виде логической схемы алгоритма (ЛСА) [5].

Введем формальное определение ЛСА, используемое для представления алгоритмов в ЭВМ. Логической схемой алгоритма называется конечная строка символов, представляющая собой последовательность логических условий и операторов, сопровождающихся указателями переходов, и удовлетворяющая следующим требованиям.

Логическое условие сопровождается двумя указателями переходов, разделенными запятой и заключенными в круглые скобки, стоящие справа от условия. Первый указатель определяет передачу управления в случае выполнения логического условия, второй — переход в случае его невыполнения. Если на месте указателя стоит звездочка, то переход осуществляется на оператор, непосредственно следующий за логическим условием. Перед каждым оператором и логическим условием в круглых скобках может стоять один или несколько указателей, определяющих, откуда осуществляется переход на данный оператор. После каждого оператора в круглых скобках может стоять оператор безусловного перехода. Перед скобками, заключающими указатели перехода, для облегчения синтаксического разбора логической схемы ставится символ \circ . Оператор или логическое условие с сопровождающими их указателями перехода будем называть элементом ЛСА и выделять с двух сторон символом разбивки —. Правила записи логической схемы алгоритма на языке логических схем алгоритмов (ЯЛСА) в нормальной форме Бэкуса можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle \text{ЛСА} \rangle &::= _ \langle \text{элемент} \rangle _ \{ \langle \text{элемент} \rangle _ \} \dots \\ \langle \text{Элемент} \rangle &::= | \circ (\langle \text{указатель} \rangle) \\ &\quad \{ \langle \text{оператор} \rangle [\circ (\langle \text{указатель} \rangle)] \\ &\quad \{ \langle \text{логическое условие} \rangle \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \circ \left(\left\{ \left\{ \langle \text{указатель} \rangle \right\}, \left\{ \langle \text{указатель} \rangle \right\} \right\} \right) \\
 & \langle \text{оператор} \rangle ::= \langle \text{буква} \rangle \left[\left\{ \left\{ \langle \text{цифра} \rangle \right\} \right\} \left[\left\{ \left\{ \langle \text{буква} \rangle \right\} \right\} \right] \dots \left[\left(\langle \text{аргумент} \rangle, \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. \langle \text{аргумент} \rangle \right) \dots \right] \right] \\
 & \langle \text{логическое_условие} \rangle ::= \langle \text{буква} \rangle \left[\left\{ \left\{ \langle \text{цифра} \rangle \right\} \right\} \left[\left\{ \left\{ \langle \text{буква} \rangle \right\} \right\} \right] \dots \right. \\
 & \quad \left. \dots \left[\left(\langle \text{аргумент} \rangle [, \langle \text{аргумент} \rangle] \dots \right) \right] \right] \\
 & \langle \text{указатель} \rangle ::= \langle \text{буква} \rangle \left[\left\{ \left\{ \langle \text{цифра} \rangle \right\} \right\} \left[\left\{ \left\{ \langle \text{буква} \rangle \right\} \right\} \right] \dots \right]
 \end{aligned}$$

Логическим условием в ЛСА сопоставлены предикаты, истинность которых определяется при помощи соответствующих программных модулей (процедур-функций), находящихся в памяти ЭВМ. Эквивалентами операторов являются автономно оттранслированные программные модули. ЛСА определяет порядок передачи управления от одного программного модуля к другому. В дальнейшем указатели, стоящие слева от оператора, будем называть входными, а указатели, стоящие справа от оператора — выходными. Определенная таким образом логическая схема выполняется по следующим правилам.

1. Реализация начинается с оператора, стоящего в ней первым.
2. Если выполнен оператор и отсутствует выходной указатель, то переход осуществляется к следующему элементу схемы.
3. Если выполнен оператор, при котором стоит выходной указатель, то переход осуществляется на оператор, имеющий такой же входной указатель.
4. Если логическое условие выполнено, то следующим реализуется оператор, сопровождаемый таким же входным указателем, какой стоит на первом месте в скобках, следующих за логическим условием.
5. Если логическое условие не выполнено, то управление передается на оператор с входным указателем, соответствующим выходному указателю, стоящему на втором месте в скобках.
6. Если на месте какого-либо указателя, стоящего в скобках справа от логического условия, стоит звездочка, то в работу включается оператор, следующий за логическим условием.
7. Реализация ЛСА завершается оператором STOP.

Выполнение этих правил обеспечивается соблюдением следующих требований синтаксического характера к формированию ЛСА.

1. ЛСА должна быть записана в строгом соответствии с определением, заданным в нормальной форме Бэкуса.
2. Каждый выходной указатель должен встречаться в ЛСА один и только один раз в качестве входного.

3. Двух одинаковых входных указателей в ехеме не должно быть.

4. Каждое логическое условие сопровождается двумя выходными указателями.

5. Если предыдущий оператор сопровождается выходным указателем или если на месте выходных указателей логического условия не стоит звездочка, то следующий оператор должен иметь входной указатель.

6. Оператор STOP должен встретиться в схеме не менее одного раза.

Примером логической схемы алгоритма, записанной на ЯЛСА, может служить следующая строка символов:

__O (L1) A1 __A2 O (L2) __O (L3) P1 O (L1, *) __O (L2) A2 __
P2 O (*, L3) __A3 __STOP __

ЛСА можно представить таким образом: каждый элемент будем записывать на отдельной строке в том порядке, в котором они следуют в строчной записи ЛСА, причем на каждой строке выделяется фиксированное поле входных указателей, операторов и выходных указателей с тем, чтобы указатели и операторы были записаны в столбик. Символ разбивки при этом опускается. ЛСА представляется в виде таблицы.

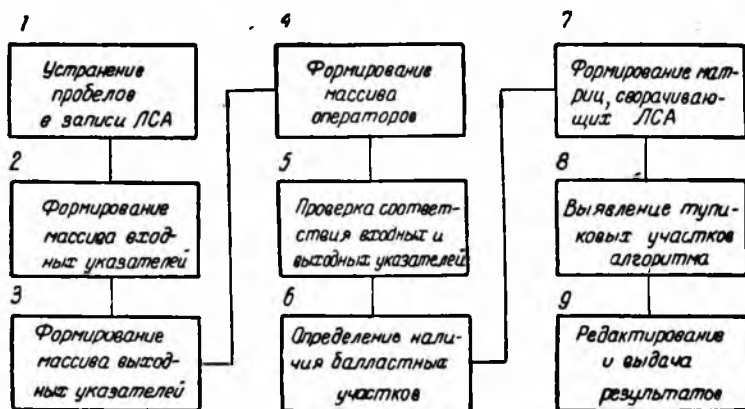
Входные указатели	Оператор	Выходные указатели
O (L1)	A1	
	A2	O (L2)
O (L3)	P1	O (L1, *)
O (L2)	A2	
	P2	O (*, L3)
	A3	
	STOP	

Очевидно, что такое представление ЛСА делает ее значительно нагляднее и удобнее для работы с ней. В частности, имеется возможность определения топологической корректности ЛСА, т. е. возможность выявлять тупиковые ветви алгоритма, балластные участки, на которые управление в процессе реализации алгоритма никогда не передается, и заикливания. Рассмотрим алгоритм определения корректности ЛСА. Он предназначен для решения следующих задач: определение взаимно однозначного соответствия входных и выходных указателей; выявление участков алгоритма, не выполняющихся в процессе его реализации, если такие участки есть; выявление тупиковых ветвей ЛСА, если они имеют место.

Описываемый алгоритм приведен на рис. 1. Исходными данными алгоритма определения корректности ЛСА является

логическая схема проблемного алгоритма, записанная в удобном для пользователя виде (в строку или в столбец) с обязательным соблюдением перечисленных выше требований синтаксического характера.

В целях сокращения ЛСА ее линейные участки (т. е. послеовательность элементов, которые не сопровождаются входными или выходными указателями) представляются одним укрупненным элементом. Общая топология ЛСА при этом остается неизменной.



Алгоритм определения корректности ЛСА

Выполнение алгоритма начинается с того, что в целях стандартизации процесса обработки ЛСА осуществляется устранение всех пробелов (символ 1). Для простоты дальнейшего анализа ЛСА путем поэлементной ее обработки отдельно формируются одномерные массивы входных и выходных указателей, а также массив операторов (символы 2—4). Если в рассматриваемом элементе ЛСА указатели отсутствуют, то в соответствующем элементе массивов входных и выходных указателей формируется соответствующий признак.

Проверка соответствия входных и выходных указателей осуществляется поэтапно (символ 5). Вначале анализируется, нет ли в массиве входных указателей одинаковых элементов. Затем для каждого выходного указателя осуществляется поиск соответствующего входного указателя. В случае обнаружения нескольких одинаковых входных указателей или отсутствия входного указателя, соответствующего выходному указателю, формируется сообщение об этом с указанием элемента ЛСА.

Для выявления участков алгоритма, не выполняющихся в процессе его реализации, используется следующее свойство ЛСА: в случае отсутствия выходных указателей у оператора управление передается на следующий, находящийся справа, оператор.

Последовательность действий по обнаружению «балластных» участков проблемного алгоритма следующая (символ *b*). Начиная с первого элемента, просматриваются все элементы ЛСА. Процедура выявления таких участков сводится к поиску ситуации, когда предыдущий оператор сопровождается выходными указателями, отличными от звездочки, а следующий оператор не имеет входного указателя. Следовательно, управление на

	1	2	3	4	---i---	$n-1$	n
1	0	0	1	0	----	0	0
2	0	1	0	0	----	1	0
3	0	0	0	0	----	0	0
4	0	0	1	0	----	0	1
<i>j</i>	----	----	----	----	----	----	----
	1	0	1	0	----	0	0
	0	0	1	0	----	0	0
$n-1$	0	0	0	0	----	1	1

Рис. 2

этот оператор никогда не передается. Он и фиксируется в качестве начального в «балластном» участке. Если внутри такого участка встречаются выходные указатели, отличные от звездочки, то они помечаются в списке выходных указателей как «балластные». Просматривается список выходных указателей. Если помеченный «балластный» указатель не совпадает ни с одним непомеченным указателем, то соответствующий входной указатель помечается в списке входных указателей как «балластный».

Последним в «балластном» участке будет оператор, предшествующий оператору с непомеченным входным указателем. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будут выявлены все «балластные» участки.

Выявление тупиковых участков алгоритма осуществляется путем поиска пути от каждого оператора к оператору STOP, стоящему в ЛСА последним (символ *g*). Для облегчения такого поиска формируется матрица *M* размерности $n \times (n-1)$, где n — количество элементов в укрупненной ЛСА (рис. 2). Каждые

строка и столбец матрицы M соответствуют определенному элементу ЛСА, причем первая строка и столбец — первому элементу ЛСА, а n -й столбец — оператору STOP. Элементы матрицы M определяются следующим образом:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{— если возможна передача управления от } i\text{-го} \\ & \text{элемента к } j\text{-му элементу ЛСА;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

На основе анализа матрицы M можно найти пути от первого элемента ЛСА к последнему, если он существует. Просматривается столбец, соответствующий последнему элементу в ЛСА (оператор STOP). Если в какой-либо строке встретилась 1, то элемент, соответствующий этой строке, помечается. Далее рассматривается столбец, соответствующий помеченному элементу, и определяются элементы, из которых возможен переход к данному элементу. Они также помечаются. Таким образом, рассматриваются все элементы ЛСА и определяются все пути от первого элемента к последнему (если таковые существуют). При этом формируется вектор-столбец, определяющий, из какого элемента ЛСА достигим оператор STOP (рис. 2).

Если управление будет передано на элемент, отмеченный «0», то достигнуть оператора STOP невозможно при любых условиях. Этот оператор и будет первым в «тупиковом» участке. При обнаружении «тупиковых» ситуаций человеку выдается соответствующее сообщение.

Матрица M обладает еще некоторыми свойствами. В частности, если столбец содержит все нули или только 1 на месте $M(i=j)$, то управление на соответствующий оператор никогда не передается. Это свойство полезно при определении первого оператора в «балластном» участке.

С практической точки зрения матрица M может храниться в оперативной памяти ЭВМ, так как требует относительно небольшого объема памяти. Так, для ЛСА, содержащей 200 укрупненных элементов (в исходной ЛСА элементов может быть значительно больше), требуется примерно 5 Кбайт, поскольку элементы матрицы занимают по одному двоичному разряду. Для современных ЭВМ это вполне реальное число. Побитную обработку матрицы M удобно осуществлять на ЭВМ ЕС, имеющей для этого программные и аппаратные средства.

ЯЛСА удобен не только для формализованного представления алгоритмов, но и для автоматизации процесса сборки программных модулей в соответствии с логической схемой алгоритма. Нетрудно заметить, что каждый элемент ЛСА состоит из трех составляющих, которым можно поставить в соответствие такие стандартные конструкции языков программирования, как оператор безусловного перехода, оператор условного перехода, оператор обращения к подпрограмме. Первые два оператора мо

гут отсутствовать. Таким образом, после проверки ЛСА на корректность можно переходить непосредственно к автоматическому формированию текста программы, организующей обращение к программным модулям. Возможность реализации изложенного подхода подтверждена экспериментально путем разработки соответствующей модели на ЭВМ ЕС-1030.

Список литературы: 1. *Йодан Э.* Структурное проектирование и конструирование программ.— М.: Мир, 1979.— 415 с. 2. *Лаврищева Е. М.* Методика построения программных комплексов на основе банка модулей.— В кн: Разработка математических и технических средств автоматизированных систем управления. К., 1975, с. 3—12. 3. *Липаев В. В., Филиппович В. В.* Принципы и правила модульного построения сложных комплексов программ АСУ.— УС и М, 1975, № 1, с. 16—22. 4. *Погребной В. К.* Об автоматизации модульного проектирования программного обеспечения АСУ ТП.— УС и М, 1978, № 1, с. 25—34. 5. *Янов Ю. И.* О логических схемах алгоритмов.— Пробл. кибернетики, 1958, № 1, с. 11—17.

Поступила в редколлегию 13.01.83.

УДК 658.012.011.56:681.5

В. Г. ВОРОНОВ, д-р техн. наук, *В. И. КАДУЛИН*, *А. Я. МАЗАЛОВ*,
Л. М. САЛИКОВ, *В. П. РЕЗЦОВ*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ С ТРИГГЕРНЫМ ФАЗОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ

Рассмотрим задачу моделирования и анализа синтезатора частоты, предназначенного для создания дискретной сетки частот, схема которого описана ранее¹. Он состоит из опорного генератора (ОГ), генерирующего импульсную последовательность с периодом повторения T , делителя с переменным коэффициентом деления (ДПКД), который выдает импульс на каждые n импульсов, поступивших на его вход; импульсно-фазового детектора триггерного типа (ИФД), выходным сигналом которого является последовательность прямоугольных импульсов, модулированных по ширине. Передние фронты импульсов $\sigma(t)$ формируются в моменты прихода импульсов nT , $n=0, 1, 2, \dots$, задаваемых ОГ, задние — в моменты прихода импульсов с ДПКД. ФНЧ — фильтр нижних частот, описываемых передаточной функцией $W(p)$. Рассматривается случай, когда $W(p)$ имеет только однократные полюсы $p(\nu)$, $\nu=1, 2, \dots, m$, вещественные или комплексно-сопряженные. В этом случае передаточная функция разлагается в поле комплексных чисел на элементарные дроби по формулам

$$W(p) = \frac{N(p)}{M(p)} = W(0) \sum \frac{C_\nu}{p_\nu}, \quad C_\nu = \frac{N(p_\nu)}{M'(p_\nu)}. \quad (1)$$

¹ *Губернаторов О. И., Соколов Ю. Н.* Цифровые синтезаторы частот радиотехнических систем.— М.: Энергия, 1973.— 176 с.

Текущее значение частоты управляемого генератора (УГ) связано с входным напряжением линейной зависимостью $f(t) = f_{(0)} + S_f U(t)$, где $U(t)$ — входное (управляющее) напряжение; $f(t)$ — приведенная по входу собственная частота УГ.

Составим уравнения, описывающие процесс регулирования в системе. В соответствии с разложением (1)

$$U(t) = k\sigma(t) + \sum_{v=1}^m x_v(t); \quad (2)$$

$$x_v(t) = x_v(\theta_n) \exp p_v(t - \theta) + \int_{\theta_n}^t C_v \exp(t - \tau) \sigma(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Для участка времени $\theta_n < t < \theta_{n+1}$

$$x_v(t) = x_v(\theta_n) \exp p_v(t - \theta_n) + \sigma \frac{C_v}{p_v} [\exp p_v(t - \theta_n - \epsilon_n) - 1] 1(t - \theta_n - \epsilon_n),$$

$$1(t - \theta_n - \epsilon_n) = 0 \text{ при } t \leq \theta_n + \epsilon_n; \quad 1(t - \theta_n - \epsilon_n) = 1 \text{ при } t > \theta_n + \epsilon_n.$$

Работу УГ совместно с ДПКД можно описать соотношением

$$\int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} [f(0) + S_f U(t)] dt = m_n N, \quad (4)$$

m_n — натуральное число, равное количеству импульсов, размещающихся между двумя импульсами $f(t)$. Число m_n равно наименьшему натуральному числу, при котором пределы интегрирования удовлетворяют неравенству $\theta_{n+1} > \theta_n + \epsilon_n$.

Подставляя (2), (3) в (4), находим уравнение (5), где $T_n = \theta_{n+1} - \theta_n$ — интервал между задними фронтами двух следующих друг за другом импульсов $\sigma(t)$ и $p_v Y_{vn} = x_v \theta_n U$. Полагая в (3) $t = \theta_{n+1}$, уравнение (5) дополним системой нелинейных разностных уравнений (6)

$$\sum \{ Y_{vn} [\exp p_v T_{n-1}] + \sigma \frac{C_v}{p_v^2} [\exp p_v (T_n - \epsilon_n) - 1] \} = \sigma W(0) (T_n - \epsilon_n) + m_n N - \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} f_0(t) dt; \quad (5)$$

$$Y_{v,n+1} = Y_{vn} \exp p_v T_n + \sigma \frac{C_v}{p_v^2} [\exp p_v (T_n - \epsilon_n) - 1], \quad (6)$$

$$\theta_0 + \sum_{s=0}^{n-1} T_s + \epsilon_n = lT, \text{ но } (l-1)T < \theta_0 + \sum_{s=0}^{n-1} T_s < lT. \quad (7)$$

Здесь l — натуральное число; $\theta_n = \sum_{s=0}^{n-1} T_s + \theta_0$.

Система из $m + 1$ разностных уравнений (5), (6) и условия (7) для отыскания ε_n полностью описывает процесс регулирования в ЦСЧ. Ее можно решать в такой последовательности. Пусть заданы в качестве начальных условий $Y_{v,n}$ и $\theta_0, T_1, \dots, T_{n-1}$. Из (7) однозначно находится ε_n . Число ε_n дополняет сумму

$$\theta_0 + \sum_{s=0}^{n-1} T_s$$

до ближайшего большого числа, кратного T . По известным $Y_{v,n}$ и ε_n находится T_n как наименьший корень уравнения (5) при $m_n = 1$. Если $T_n < 0$, то m_n увеличивают на единицу $m_n = 2$ и вновь ищут T_n . Эта процедура продолжается до такого значения m_n , при котором будет выполнено условие $T_n > 0$. По найденным T_n и ε_n из (6) определяют $Y_{v,n+1}$. Далее цикл вычислений повторяется, но уже для интервала времени, соответствующего числу $n + 1$.

В общем случае

$$\int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} f(t) dt = \int_{\sum_{s=0}^n \theta_0 + T_s}^{\sum_{s=0}^{n+1} T_s + \theta_0} f(t) dt$$

Однако в большинстве практических случаев $S(t)$ за время T претерпевает пренебрежимо малое изменение, поэтому с большой точностью можно принять

$$\int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} f(t) dt = T_n f_0 \left(\theta_0 + \sum_{s=0}^{n-1} T_s \right). \quad (8)$$

Соотношения (5) — (7) являются математической моделью ЦСЧ. В результате решения уравнений определяется последовательность T_n интервалов между задними фронтами импульсов $\sigma(t)$ на выходе ИФД и величины $Y_{v,n}$. Частота УГ связана с $Y_{v,n}$ формулами

$$f(t)_+ = \sum_{v=1}^m p_v Y_{v,n} + f_0(\theta_n + 0); \quad f(t)_- = k\sigma + \sum_{v=1}^m p_v Y_{v,n} + f(\theta_n - 0).$$

В случаях, когда представляют интерес и промежуточные значения частоты УГ между моментами θ_n и θ_{n+1} , следует воспользоваться выражениями (2), (3):

$$\theta < t < \theta_{n+1}, \quad f(t) = f_0(t) + \sum_{v=1}^m p_v Y_{v,n} \exp p_v(t - \theta_n) + \sum_{v=1}^m \left\{ k\sigma + \sigma \frac{C_v}{p_v} [\exp(p_v(t - \theta_n - \varepsilon_n))] \right\} 1(t - \theta_n - \varepsilon_n).$$

Соотношения (5) — (8) представляют алгоритм, по которому можно производить анализ динамических характеристик синтезаторов частот и автоматизировать весь процесс их проектирования.

Поступила в редколлегию 13.01.84.

Л. С. ИЛЬИНСКАЯ, А. П. ИЛЬИНСКИЙ, А. И. ЛЮБИЕВ
К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО И ГРУППОВОГО ТВОРЧЕСТВА
СООБЩЕНИЕ 2¹

Наука вступила в такую фазу развития, когда каждый новый научный факт добывается со все большими трудностями. Результат этого — нарастание противоречий между потребностью общества в расширении научных исследований (которые пока осуществляются путем наращивания числа исследователей и материальной базы науки) — с одной стороны, и ограниченности интеллектуального потенциала, а также материальных ресурсов общества (так называемый «потолок Прайса») — с другой.

В 1950 г. в США создан специальный Национальный фонд науки [1]. Филантропические фонды Форда и Карнеги, крупнейшие монополии, Пентагон, министерства морских и воздушных сил стали вкладывать в этот фонд значительные суммы для изучения природы научного творчества, на выявление и отбор потенциальных ученых, а также на развитие творческих способностей учащихся и студентов.

Проблема дальнейшего повышения результативности науки как и экономического развития в целом, усложняется демографическими факторами, которые начали у нас действовать в 80-е годы. Коренным образом ускорить научно-технический прогресс при ограниченности материальных, а также сокращении трудовых ресурсов и ограничении их притока в научно-исследовательские учреждения можно только путем интенсификации творчества.

В предыдущих наших публикациях [2,3] описана активная форма внушенно-измененного состояния сознания с кодовым управлением и самоуправлением, условно названная состоянием повышенной сосредоточенности (СПС), а также некоторые возможности повышения эффективности индивидуального творчества. Эксперименты, рассмотренные в этих публикациях, суть которых в выявлении информации с осознаваемого и нескольких неосознаваемых уровней в процессе решения творческих задач и в генерации инсайтов, в значительной мере подтвердили представление Я. А. Пономарева «о центральном звене психологического механизма творчества» [4]. Я. А. Пономарев постулирует ряд внутриспсихических уровней, в котором выделяет два основных: «базальный» и «надстроечный», что в значительной степени эквивалентно «бессознательному» и «осознаваемому».

¹ Работа доложена на Всесоюзном семинаре «Эргономическое обеспечение сложных человеко-машинных систем» 1—4 апреля 1981 г., г. Харьков.

Логическое мышление — это работа со знакомыми моделями; интуиция — познавательная деятельность, протекающая на базальном уровне. Эта деятельность непосредственно контролируется предметами-оригиналами, в функции которых могут выступать их модели (последнее существенно, так как может послужить для объяснения отдельных наших экспериментов). Интуицию Я. А. Пономарев противопоставляет логическому структурному уровню организации познания, который представлен системой знаковых моделей. Непосредственный контакт с предметами-оригиналами освобождает интуицию от необходимости пользоваться логикой — в этом ее главная особенность. Напротив, без логики невозможно обойтись при сознательных познавательных действиях. Интуиция также вкраплена в сознательно организованное познавательное действие. Однако интуиция не направляется осознаваемой целью, а возникает помимо намерения субъекта как «побочный продукт», который появляется в результате влияния свойств вещей, несущественных с точки зрения осознаваемой цели.

Таким образом, результат познавательного действия человека двойственен: кроме прямого (осознаваемого) продукта, образовавшегося в процессе действия, направленного к достижению сознательно поставленной цели, в результате действия содержится также побочный (неосознаваемый) продукт, возникающий помимо сознательного намерения под влиянием тех свойств предметов и явлений, которые включены в действие, но несущественны с точки зрения цели. Побочный продукт не осознается, поскольку внимание захвачено достижением цели. Однако при некоторых (мало известных) условиях побочный продукт может неосознанно программировать последующие действия с предметами-оригиналами или с их моделями, что зачастую приводит к интуитивному решению, использующему «подсказку», которая содержится в побочном продукте. Процесс интуитивной деятельности не осознается. Момент интуитивного решения воспринимается как факт удовлетворения познавательной потребности, оказывается неожиданным и ощущается как «озарение», «инсайт». Интуитивное решение всегда предшествует логическому. Логическое решение образуется из интуитивного из-за потребности обосновать интуитивное решение себе или передать другому человеку.

Такой подход может быть также распространен на наш метод генерации инсайтов. Наши эксперименты показали, что эффективным возмущающим воздействием, способным «вышибить из порочного круга» при наличии тупика в дискурсивном мышлении, является «перемещение» по коду на осознаваемый уровень случайных выборок информации, выявляемых с различных уровней (поточков) неосознаваемой компоненты мышления (2,3). Субъективно испытываемый переживает каждый момент кодового осознания образа из неосознаваемой сферы как новую «свежую»

мысль. Интенсификация поиска интуитивных решений и соответственно большая частота инсайтов может быть объяснена тем, что каждое «перемещение» отдельных фрагментов побочного продукта, содержащегося в неосознаваемом, импульсно меняет программу последующих действий с предметами-оригиналами, в функции которых, как отмечалось выше, могут выступать также модели на различных уровнях (потоках) неосознаваемой компоненты мышления.

Кроме применения в целях интенсификации индивидуального творчества, СПС может оказаться полезным также для повышения эффективности группового творчества. Об этом свидетельствуют эксперименты одного из авторов этой статьи в области «гибридного интеллекта». Этим термином названа предложенная В. Ф. Вендой социотехническая система адаптивного информационного взаимодействия [5]. В функции системы входит управление интеллектуальным взаимодействием между специалистами, решающими сложные оперативные, технические или исследовательские проблемы, чтобы создать коллективную многоплановую модель некоторой сложной реальности, а главное — интенсифицировать коллективное творчество. В этой системе должна быть особая группа участников-метаоператоров роль которых не в принятии решений, а в управлении информационным взаимодействием и адаптацией членов этой системы особенно в экстремальных условиях. В процессе создания психологической теории синтеза систем «гибридного интеллекта» необходимо решение ряда задач, в том числе задачи психологического анализа опыта коллективного творчества. Описанные нами методики с применением кодового управления в СПС создают перспективы подхода к их решению.

Социально-психологические исследования группового творчества разными психологами пока не создали общепринятого объяснения повышения эффективности совместной деятельности. М. Г. Ярошевский полагает, что причина — «... в дифференциации научно-социальных ролей в группе» (6). Он предлагает комплектовать творческий коллектив с учетом различия «ролевых» профилей его участников: организатор, критик, коммуникатор, исполнитель.

Я. А. Пономарев, наоборот, подчеркивает, что попытки заранее навязать роли испытуемым нецелесообразны [7]. Ни в одной из экспериментальных групп не удалось удержать первоначального распределения ролей. На протяжении всего периода решения творческой задачи члены группы по несколько раз переходили из одной роли в другую.

Б. Ф. Ломов считает, что в совместной деятельности важна «передача» незавершенных действий от одного участника к другому. Благодаря общению, происходит регуляция действий одного индивида планами, созревшими в голове другого [8]. Опыт участников группы интегрируется, создавая общий творческий

резерв. При этом каждый вносит в него нечто уникальное—свой индивидуальный опыт. Таким образом, группа по Б. Ф. Ломову— это не совокупность субъектов, а *совокупный объект*, обладающий системой качеств, не сводимых к простой сумме качеств входящих в него индивидов.

Я. А. Пономарев, развивая подход Б. Ф. Ломова, объясняет повышение эффективности группового решения творческих задач непосредственным общением, понимаемым как специфическое взаимодействие людей, которое приводит к формированию новой информации. В своих экспериментах для доказательств этого он использовал очень упрощенную модель реализации проблемной ситуации—монотипную панель. На этой панели укреплено шестнадцать цилиндров, расположенных «квадратом». Собирая определенные правила, на все эти цилиндры надо надеть шесть планок с отверстиями. По своему смыслу эта задача аналогична требованию: соединить шестнадцать точек (расположенных квадратом) шестью прямыми линиями, не отрывая карандаша от бумаги.

Однако в этом случае приходится возразить Я. А. Пономареву: как это следует из достаточно подробного описания хода эксперимента, решение задачи происходило не путем формирования информации в непосредственном вербальном общении, а в результате визуального использования одним из членов группы «побочного продукта» деятельности другого, т. е. случайного вынесения одной из планок за пределы плоскости, ограниченной квадратом цилиндров. Тот член группы, в действии которого возникает побочный продукт, содержащий в себе ключ к решению задачи, занят непосредственной целью своего действия и потому наименее восприимчив к результату, объективно представленному в преобразованиях ситуации. Другой член группы, наблюдающий за действиями своего партнера со стороны, смог попасть в более благоприятные обстоятельства для восприятия и оценки «подсказки», возникшей в преобразованиях объективной ситуации [7, стр. 84].

Ясно, что наглядные задачи класса «монотипная панель» с условиями, допускающими пробы и ошибки при фактическом взаимодействии с объектом, несравненно примитивнее настоящих проблемных ситуаций, которые требуют взаимодействий человека-оператора не с реальными объектами, а с их информационными и концептуальными моделями. Для доведения проблемности таких задач (хотя бы в первом приближении) до уровня реальных следует запретить «пробы и ошибки» точно так же, как в шахматах запрещено «брать ход назад».

При таких дополнениях к условиям игры сразу же становится более чем сомнительной возможность вынесения побочного продукта за пределы получившего этот продукт индивида. Ведь побочный продукт *неосознаваем по определению* и, следовательно, не может быть передан другому индивиду в процессе обыч-

ного вербального общения. В самом деле, пока не известно ни одного случая, чтобы поражение чемпиону мира было нанесено вдохновенно объединившим усилия дружным шахматным коллективом!

В соответствии с представлением Я. А. Пономарева о «центральной звене психологического механизма творчества» логическое решение творческой задачи возникает лишь на базе интуитивного, т. е. в процессе неосознаваемой деятельности [4]. А раз так, то для существенного суммирования творческих способностей в настоящей (не облегченной для лабораторного эксперимента) проблемной ситуации необходимо организовать непосредственное общение членов творческой группы на неосознаваемом уровне. Такое неосознаваемое общение стимулировало бы передачу побочного продукта, незавершенных действий и планов от любого из участников творческой группы всем остальным.

Для подтверждения этих соображений одним из авторов статьи были проведены эксперименты, в которых в зависимости от измененности сознания группы операторов и вида их информационного взаимодействия оценивалась эффективность решения оперативных задач регулирования объекта по его мнемосхеме. Решение состояло из поиска отклонившихся от нормы параметров, создания концептуальной модели связей (в том числе противоречивых) этих параметров с положением регулирующих ключей и, наконец, в указании ключей и необходимого изменения их положения для устранения обнаруженных отклонений. Проблемная ситуация в этих экспериментах была организована достаточно сложно, чтобы не быть разрешимой в контрольный срок силами одного оператора.

Наименьшая эффективность принятия решений оказалась для работы группы испытуемых в обычном состоянии сознания. Испытуемые жаловались, что им мешают другие члены группы. Мнения о возможном поведении объекта в зависимости от управляющих воздействий, высказываемые вслух, создавали информационные шумы. Явное отсутствие преимуществ группового творческого поиска по сравнению с индивидуальным в данном случае обусловлено настоящим (не упрощенным) характером проблемной ситуации и необходимостью действовать в самом деле «в уме», т. е. не с реальным объектом, а с его концептуальной моделью.

Не улучшилась эффективность группового принятия решений при изменении состояния сознания до СПС, в том числе в режиме двухканального вывода, при помощи которого выявляется информация с осознаваемого и нескольких параллельных уровней (поток) неосознаваемого [2, 3]. Таким образом, в виде неосознаваемых вербальных и графических самоотчетов обеспечивается «вынесение» побочного продукта (неосознаваемого по

определению) за пределы мозга индивида, получившего этот побочный продукт.

Однако для того, чтобы стать побочным продуктом для другого индивида, эта информация должна тоже попасть ему именно на неосознаваемый уровень. В самом деле, эффективность принятия решений группой резко возрастает, как только режим двухканального вывода в СПС по соответствующей кодирующей команде дополняется внушением того, что участники не осознают зарисовок и высказываний не только своих (как это уже обусловлено двухканальным выводом), но также не осознают высказываний и зарисовок друг друга, и что все они вместе имеют (или образуют) ...один общий целеустремленный мозг.

После выхода из проблемной ситуации испытуемые в самоотчетах отмечали, что информационные помехи, обычно создаваемые деятельностью других участников, полностью исчезали после вмешательства суггестолога. Самого текста внушения, переводящего непосредственное общение на неосознаваемый уровень, испытуемые не запоминали из-за внушенной амнезии. Более того, в своих самоотчетах испытуемые не могли отличить своих мыслей от подсказок других членов группы. Каждая из мыслей, которую удавалось вспомнить, интерпретировалась как своя, дополняющая все остальные. Все вместе эти мысли образовывали некую концептуальную модель проблемной ситуации.

Следует также отметить, что суггестолог, изменявший состояние сознания испытуемых операторов, а также кодовыми командами менявший вид их информационного взаимодействия, в соответствии с определением В. Ф. Венды, выступал в роли метаоператора экспериментальной модели коллективного или гибридного интеллекта [5].

Эксперименты по исследованию модели гибридного интеллекта с применением состояния повышенной сосредоточенности (СПС) и кодовым управлением информационным взаимодействием начаты недавно и носят прикладной характер. Некоторые результаты по непосредственному управлению творческим мышлением получены впервые. Но уже теперь можно оценить перспективность дальнейшей углубленной проработки различных аспектов применения измененных состояний сознания, а также кодового управления и самоуправления, изложенных в этой статье и опубликованных ранее [2, 3], кроме исследований неосознаваемого и психологического проектирования объекта профессиональной деятельности, а также исследований и организации группового творчества.

Следует также обратить внимание на то, что, кроме повышения продуктивности мышления (стимулирования «озарений») в изобретательской и научной деятельности, активная форма внушенно измененного состояния сознания — СПС и основанные на ней методики создают перспективы разработки методов и приборных средств для повышения эффективности индивидуаль-

ного и группового творчества во время принятия решений в оперативной обстановке (в том числе при экстремальных взаимодействиях), например, при поиске неисправностей в сложной аппаратуре при нештатных и аварийных ситуациях. Эти перспективы делают весьма актуальной задачу разработки биоадаптивных комплексов для получения, поддержания и диагностики активной формы измененного состояния сознания, а также кодового управления и самоуправления в этом состоянии [9, 10].

В этой связи чрезвычайно актуальна инициатива врача Х. М. Алиева по организации на одном из предприятий Армении отдела промышленной психофизиологии, ставящего своей задачей разработку автоматизированной системы для обучения постгипнотической кодовой саморегуляции [11].

Список литературы: 1. Бернштейн М. С. Психология научного творчества.— *Вопр. психологии*, 1965, № 3, с. 156—164. 2. Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Корон А. В. Некоторые методы исследования интеллектуальной деятельности человека. *Сообщение 1—3*. *Пробл. бионики*, 1979, вып. 23, с. 110—116; 1980, вып. 24, с. 93—100, вып. 25, с. 58—66. 3. Ильинский А. П., Ильинская Л. С., Любимов А. И. Внушенно измененное состояние сознания и эффективность деятельности операторов сложных человекомашинных систем. *Сообщение 1*.— *Пробл. бионики*, 1983, вып. 31, с. 121—128. 4. Пономарев Я. А. Психология творчества.— М.: Наука, 1976.— 302 с. 5. *Инженерная психология* / Под ред. Б. Ф. Ломова.— М.: Наука, 1977.— 304 с. 6. Ярошевский М. Г., Карцев В. П. Социальная психология научного коллектива.— *Вопр. психологии*, 1977, № 1, с. 14—27. 7. Пономарев Я. А. Роль непосредственного общения в решении задач, требующих творческого подхода.— В кн.: *Пробл. общения в психологии*. М. 1981, с. 79—91. 8. Ломов Б. Ф. Общение как проблема общей психологии.— В кн.: *Методологические проблемы социальной психологии*. М., 1975, с. 124—135. 9. А. с. 160776 (СССР). Устройство для усыпления и гипноза / А. П. Ильинский, И. И. Кухтевич.— *Опубл. в Б. И.*, 1963, № 5, с. 19. 10. А. с. 1003130 (СССР). Устройство для оценки психофизиологических характеристик оператора систем управления / А. П. Ильинский, Я. М. Моргулис, А. А. Востриков.— *Опубл. в Б. И.*, 1983, № 9, с. 233. 11. Алиев Х. М. Метод программируемой психофизиологической саморегуляции как эффективное средство оптимизации напряженной операторской и физической деятельности и общего функционального состояния человека: Программирование механизмов саморегуляции операторов в режиме автоматизированного обучения.— *Электрон. пром-сть*, 1984, вып. 1, с. 73—78.

Поступила в редколлегию 04.02.84.

УДК 621:612.8

А. В. ТРОШКИН

СУБЪЕКТИВНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

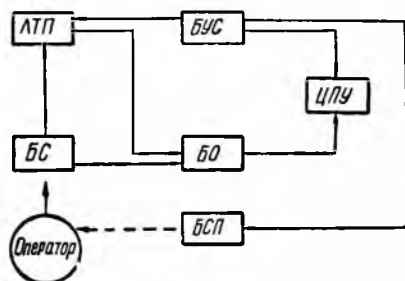
Проблема восприятия времени представляет значительный теоретический и прикладной интерес (1—3). Одним из важных в практическом отношении аспектов данной проблемы является изучение зависимости восприятия времени от состояния человека, работающего в системе человек — машина. Объясняется это

тем, что в последние годы большое значение придается вопросу поиска информативных и простых в реализации методов оценки психофизиологического состояния человека-оператора. Широко используемые для индикации состояний электрофизиологические способы — ЭЭГ, ЭКГ, КГР т. д. достаточно сложны как в методическом плане, так и в регистрации и расшифровке результатов. Кроме того, перечисленные способы выполняются с помощью контактных датчиков, которые в большей или меньшей степени вносятся в работу человека—оператора определенные неудобства, отвлекают его от выполнения профессиональных обязанностей.

Метод оценки (отмеривания) временных интервалов лишен указанных недостатков и может быть реализован с помощью обычных часов или секундомера. Что же касается информативности этого показателя в диагностике состояний, то еще И. М. Сеченов говорил о большой значимости временного анализатора в приспособительных функциях человека [4].

Исследования в данном направлении показывают, что при положительных эмоциях, как правило, наблюдается ускорение течения времени, т. е. временные интервалы недооцениваются, а при отрицательных, наоборот, переоцениваются [5, 6]. Так, в работе [6] изучалось восприятие временных интервалов испытуемыми и космонавтами в условиях кратковременной невесомости. Анализ данных свидетельствует, что испытуемые, хорошо переносившие невесомость, недооценивали время действия указанного фактора (промежуток 30—40 с оценивался ими как 15—20 с). Испытуемые, переживавшие в невесомости неприятные ощущения, 24—26-секундные интервалы оценивали как минутные. Это экспериментально подтвердило предположение, что метод оценки временных интервалов можно использовать для индикации психофизических состояний.

В исследовании участвовали 29 испытуемых — добровольцев в возрасте от 19 до 22 лет. Для имитации операторской деятельности использовалось устройство, позволяющее моделировать операцию отслеживания сигнала на экране электронно-лучевой трубки. На рисунке представлена блок-схема экспериментальной установки: ЭЛТ — электронно-лучевая трубка; БУС — блок управления сигналом-целью; БС — блок сопровождения сигнала-цели сигналом-меткой; БО — блок оценки результата; ЦПУ — цифрпечатающее устройство; БСП — блок создания помех. Поставлено две серии экспериментов.



Блок-схема экспериментальной установки

В первой серии было занято 16 человек. Их задача заключалась в многократном отслеживании сигнала-цели сигналом меткой. Причем один 10-минутный цикл они работали без воздействия стресс-факторов, что соответствовало первому уровню психоэмоционального напряжения, второй цикл той же продолжительности — со световой стимуляцией (второй уровень психоэмоционального напряже-

ния) и третий 10-минутный цикл — со световой стимуляцией и наказанием ударом электрического тока за допущенные ошибки (третий уровень психоэмоционального напряжения). Работа проводилась в затемненной комнате.

Поскольку поставленная задача выполнялась при трех уровнях психоэмоционального напряжения, отличающихся сложностью и уровнем мотивации, мы полагали, что и психофизиологическое состояние испытуемых во всех трех случаях было разным.

Для световой стимуляции применяли фотостимулятор ФС-02 с энергией вспышки 0,3 Дж. Лампа-вспышка располагалась на расстоянии 50—70 см от глаз оператора. Частота сигналов задавалась в диапазоне 3—5 Гц.

Таблица 1

Номер оператора	Контроль	Уровни психоэмоционального напряжения		
		I	II	III
1	60,6	64,0	63,0	58,0
2	51,0	69,6	57,4	54,2
3	59,6	58,2	61,2	64,2
4	49,8	50,0	57,2	55,8
5	56,0	61,8	58,4	46,2
6	46,2	50,0	57,2	55,0
7	54,0	59,0	58,0	57,0
8	55,0	62,0	54,0	65,2
9	54,2	60,0	61,6	61,0
10	53,2	61,0	60,2	60,0
11	46,0	48,0	51,0	41,0
12	53,4	63,0	63,0	60,8
13	54,0	52,8	57,0	57,2
14	55,4	59,2	59,0	67,4
15	51,2	56,6	67,0	63,0
16	53,0	56,0	60,0	64,0
<i>M</i>	53,3	57,8	59,1	58,1
$\pm m$	3,96	5,15	3,77	6,92
<i>p</i> *		<0,01	<0,01	<0,01

* *p* — сравнение с контрольными данными.

Электрокожное раздражение создавали с помощью электростимулятора ИСУ-01. Параметры импульса: амплитуда — 20—30 В (в зависимости от индивидуального восприятия), длительность—0,01 с, тип — прямоугольный. Электроды крепились на правой руке.

За 10—15 минут до начала работы (контроль) и сразу после каждого цикла обследуемые оценивали 60-секундный интервал времени. Объективное время регистрировали механическим секундомером. Данные статистически обрабатывались на микрокалькуляторе «Электроника БЗ-21».

Результаты субъективной оценки 60-секундного интервала времени в контроле и при различных уровнях психоэмоционального напряжения приведены в табл. 1.

Обращает на себя внимание, что большинство (14 из 16) испытуемых в контрольном замере допустили значительные ошибки, недооценив заданный временной интервал на 8—12 % и более. В результате среднее контрольное время по всей группе составило 53,3 с, или 88,9 % от истинного значения. Все средние значения, соответствующие и первому, и второму, и третьему уровням психоэмоционального напряжения, меньше истинного, эталонного значения (60 с). Однако, если рассматривать полученные при различных уровнях психоэмоционального напряжения средние значения временных интервалов по отношению к контролю, то не вызывает сомнения факт замедления течения времени в восприятии испытуемых. Это подтверждается достоверным ($p < 0,01$) увеличением средних значений при всех уровнях. С другой стороны, статистически значимых различий в восприятии между исследуемыми уровнями психоэмоционального напряжения по всей группе обследуемых не выявлено, что, по-видимому, объясняется индивидуальными особенностями в восприятии времени.

Здесь можно только заметить, что самый значительный разброс данных ($m = \pm 6,92$) соответствует наибольшей степени психоэмоционального напряжения.

Во второй серии экспериментов участвовали 13 человек, которые выполняли ту же задачу — отслеживали сигнал-цель на ЭЛТ сигналом-меткой. Отличие от предыдущей серии заключалось в характере воздействия стресс-факторов и в продолжительности работы, которая была увеличена до 1 ч. При выполнении операции слежения испытуемые подвергались световой и звуковой стимуляции. Частота световых вспышек составляла 20—25 импульсов в минуту. Испытуемые работали в наушниках, через которые от генератора шума подавался непрерывный звуковой сигнал порядка 70 дБ на частоте 1000 Гц. В момент световой вспышки на постоянно присутствующий шум накладывался резкий неприятный звук (100—110 дБ).

До начала эксперимента обследуемый оценивал 1- и 10-секундные временные интервалы. Оценка проводилась следующим образом. Оператор располагался в удобной позе на стуле спиной к электромиорефлексомеру (ЭМР) и брал в руки датчики непосредственных реакций. После предварительной команды «Внимание» (звуковой щелчок) обследуемый начинал отмеривать заданный интервал времени, нажав при этом на кнопку датчика реакций и запустив электронный секундомер ЭМР. По истечении (субъективному) временного интервала он нажимал на кнопку второго датчика, останавливая часы. Процедура повторялась десять раз для каждого тестового интервала. В дальнейшем данные усреднялись.

После этого у оператора регистрировали 100 кардиоциклов ЭКГ с помощью ритмокардиоанализатора РКА-103, автоматическим строившим гистограмму распределения R—R интервалов ЭКГ с шагом квантования 50 мс. По гистограмме высчитывали индекс напряжения (ИН) по Р. М. Баевскому [7]. Этот показатель был введен для сопоставления с исследуемым параметром — оценкой временных интервалов — как признанный критерий, характеризующий психофизиологическое состояние человека-оператора. Сразу после работы все замеры повторялись.

Таблица 2

Номер оператора	Субъективная оценка временных интервалов				Показатель сердечного ритма (ИН)	
	1 с		10 с		I	II
	I*	II*	I	II		
1	0,698	0,734	11,078	11,154	73	108
2	0,903	1,185	9,221	11,456	59	102
3	0,962	0,895	9,655	10,873	42	83
4	0,819	0,980	6,222	9,141	49	66
5	0,663	1,234	8,146	11,742	64	77
6	0,816	0,864	8,867	8,874	71	93
7	0,666	0,972	8,792	11,130	79	89
8	0,581	0,729	6,384	8,404	56	102
9	0,795	1,000	10,379	9,372	53	96
10	1,001	1,062	10,933	10,980	62	93
11	0,992	1,056	8,014	12,484	68	88
12	0,719	0,868	8,925	11,780	75	121
13	0,845	0,930	8,765	8,909	81	79
<i>M</i>	0,805	0,962	8,875	10,485	64	92
<i>p</i>		< 0,01		< 0,01		< 0,01

* I — спокойное состояние (контроль);

** II — после часовой работы.

Полученные результаты представлены в табл. 2. Как и в первой серии в рабочем состоянии наблюдается недооценка как 1-секундного, так и 10-секундного временных интервалов. После продолжительной работы с высоким уровнем психоэмоционального напряжения, вызванного монотонностью, световой и звуковой стимуляцией, среднее значение субъективного восприятия 1-секундного интервала достоверно ($p < 0,01$) увеличивается. Что же касается 10-секундного интервала, то здесь отмечено не только достоверное ($p < 0,01$) замедление течения времени в восприятии по отношению к исходным данным, но и переоценка эталонного временного интервала на 4,35 %.

Достоверное ($p < 0,01$) увеличение на 44 % индекса напряжения (ИН) подтверждает, что во время эксперимента достигался значительный уровень психоэмоционального напряжения.

Таким образом, анализ полученных результатов по субъективному восприятию временных интервалов человеком-оператором, выполнявшим операцию слежения при различных уровнях психоэмоционального напряжения, показал, что наибольшую ценность для оценки психофизиологического состояния представляют относительные изменения в восприятии временных интервалов, по отношению к фоновым значениям. Определенный интерес имеет и такой критерий, как переоценка заданного временного интервала, который, по всей видимости, может служить достаточно объективным показателем высокого уровня психоэмоционального напряжения.

Список литературы: 1. *Элкин Д. Г.* Восприятие времени.— М.: Изд-во АПН РСФСР, 1962.— 31 с. 2. *Моисеева Н. И.* Некоторые методологические аспекты изучения понятия времени в биологии.— В кн.: Методологические вопросы теоретической медицины. М., 1975, с. 87—116. 3. *Лисенкова В. П.* Об особенностях отражения пространства и времени человеком.— Психол. журн., 1981, 2, № 1, с. 113—119. 4. *Сеченов И. М.* Рефлексы головного мозга.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 53 с. 5. *Геллерштейн С. Г.* Чувство времени и скорость двигательных реакций.— М.: Наука, 1958.— 112 с. 6. *Лебедев В. И., Чекирда И. Ф., Колосов И. А.* О восприятии времени в условиях кратковременной невесомости.— В кн.: Невесомость. М., 1974, с. 66—70. 7. *Баевский Р. М.* К проблеме оценки степени напряжения регуляторных систем организма.— В кн.: Адаптация и проблемы общей патологии. Новосибирск, 1974, с. 44—48.

Поступила в редколлегию 15.08.83.

УДК 62.506.2

Ю. И. ЗОЗУЛЯ, канд. техн. наук

СОГЛАСОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ, ОТРАЖАЮЩИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ОТОБРАЖАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ НООСФЕРЫ СООБЩЕНИЕ 1

Исследование геосистем, включающих в себя качественно разнородные элементы, например организационные, биологические и технические, находящиеся в интенсивном взаимодействии друг с другом, ставит ряд трудных проблем [1]. В частности, включение в систему разнородных элементов ставит, казалось бы, непреодолимые преграды перед использованием в исследовании количественных методов математики, которые не включают в себя средств для сравнения качественно разнородных элементов. И все же применение однородных измерительных средств к качественно разнородным процессам и явлениям, средств более высокого уровня организации, может создать пред-

посылки для опосредственного использования методов математики — путем изучения связи разнородных процессов и явлений в однородной системе более высокого уровня организации.

Применительно к организационным, отражающим биологическим и отображающим техническим элементам и системам в качестве такого измерительного средства может выступать только некоторое социальное целое — организация. Территориальная система как интегрирующее целое и ее организация как измерительное средство по отношению к отдельным организационным, биологическим и техническим элементам и системам — это необходимо исходный объект исследования геобионики, в частности теоретической геобионики (2). Сама же теоретическая геобионика есть в таком случае социологическая наука, в своих общих положениях совпадающая с марксистской социологией как с частью диалектического материализма марксистской философии.

Если же существуют основания для создания математической теории в такой области исследований, как теоретическая геобионика, то они неотделимы от оснований математизации марксистской философии в целом. Поэтому, прежде чем ставить вопрос о создании математической теории в области исследований теоретической геобионики, необходимо решить положительный вопрос о возможности математизации марксистской философии.

О математизации марксистской философии. Марксистская философия, раскрывающая законы отношения создания к бытию мышления к материи, психического к физическому, субъективного к объективному — законы бинарного отношения, имеет предмет, поддающийся точному описанию, а следовательно, и точный метод исследования, состоящий в активном применении достижений математики.

В истории философии есть примеры использования математики для построения философских систем [3]. Однако такой общепризнанной отрасли знаний, как математическая философия, которая систематически применяла бы метод математики для анализа философских проблем, не существует (исключая не разработанную еще аналитическую философию [4]). Более того считается, что метод математики может быть использован в философии только как вспомогательное средство для проверки того нет ли в философском учении формально-логических противоречий [5]. И все это, несмотря на то, что в предмете исследования марксистской философии — бинарном отношении сознания к бытию — присутствует составляющая, поддающаяся математическому анализу. Отделяя математическое в отношении сознания к бытию от нематематического подобно тому, как в самом сознании отделяется общественное от необщественного, порождая деление диалектического материализма на социологию и гносеологию [5], можно определить отдельно предмет математической философии и предмет нематематической философии, или просто

илософии. Можно говорить как о математической социологии, так и о математической гносеологии, так же как и о просто социологии и просто гносеологии. Естественно, что при построении математической теории в области теоретической геобионики нас будет интересовать именно математическая социология.

Математическая социология, по определению, изучает методом математики математическое в отношении общественного сознания к общественному бытию, для которого биологические и технические элементы и системы ноосферы являются лишь предпосылкой. Действительно, они скорее естественное материальное бытие. Как раз в нем они качественно различаются. По отношению же к общественному бытию, в конечном счете по отношению к производительным силам, они однородны так же, как однородны в производстве живой и овеществленный труд.

Именно тот факт, что отражение общественного бытия в общественном сознании может быть простым, негносеологическим (неосозанным, инстинктивным), подобно отражению в неживой природе (например, подобно отражению в зеркале), позволяет математизировать социологию значительно раньше, чем гносеологию — по примеру естественных наук.

В рамках математической социологии правомерна разработка математической теории согласования организационных, биологических и технических элементов и систем в циклах взаимодействия как сопоставимых, однородных элементов геосистемы и объектов теории.

Об идее согласования и принципе согласия. В известных подходах к разработке теории согласования считается, что «цель, которую преследуют простейшие живые существа, проста: выжить и получить максимум наслаждения» [6], что подобными же, но более сложными и многообразными свойствами обладают и социальные субъекты. Но в этих подходах не акцентируется внимание на том, что в антагонистическом обществе одни социальные группы, слои и классы вынуждены преследовать только цель выживания, тогда как другие группы, слои и классы не видят иных целей, кроме получения максимума наслаждения.

В социальных теориях этот факт находит преломление, с одной стороны, в преимущественной разработке идеи согласования как идеальной основы выживания, а с другой — в изучении возможностей применения принципа согласия в социальных играх, в достижении некоторого согласованного оптимума. По мнению разработчиков теории второго направления, «математическая политическая экономия утверждает, что научно оправданное с современной точки зрения Оптимальное Общественное устройство может удовлетворить всех, за исключением «множества меры нуль», т. е. ничтожного меньшинства» [6]. Естественно, что в антагонистическом обществе к этому «ничтожному» меньшинству относят всех тех, кто не является союзником господствующего класса, не принадлежит «молчаливому» боль-

шинству, и кому поэтому грозит нищета и уничтожение. Естественно, что этим «ничтожествам» не до принципа согласия. И даже согласившись, казалось бы, со своим положением, со своей нищетой, они инстинктивно тянутся к религиозной, пассивной форме протеста против угнетения, к идее согласования.

Идея согласования акцентирует внимание на минимальных достаточных условиях выживания, на разумных потребностях, а не на достаточных условиях совместной продуктивной, производственной деятельности, которые призвана разработать теория согласования. Между теорией идеи согласования и теорией согласования такое же различие, как между религиозной и философской (марксистско-ленинской) теориями. Предмет у них общий, а методы исследования его принципиально противоположные. Метод первой ненаучный, метафизический, а метод второй — научный, диалектический; первая ищет ложные, а вторая — истинные основания для обоснования своих теоретических положений. Так же как идеалистическая философия неотличима от поповщины, фидеизма и примыкает к религии, религиозным теориям, теория, проповедующая принцип согласия, пусть даже математическая теория принципа согласия, не может далеко уйти от теории идеи согласования, хотя и составляет предпосылку (в целом ложную, но в отдельных элементах, в основном логических и математических, все же истинную предпосылку) теории согласования.

Как идея согласования систем, так и принцип согласования наиболее прозрачно выступают при телеологическом подходе к описанию абстрактной системы и понимаются в рамках этого подхода как идея и принцип достижения наилучшего в некотором смысле взаимодействия систем. Теория согласования же, раскрывая объективные законы согласования элементов в системе, акцентирует внимание на достижении соответствия между элементами в системе, функционального и дополнительного [7].

Прежде чем переходить к анализу основных положений теории согласования, рассмотрим некоторые основания общей теории систем, которые имеют значение для построения абстрактных математических моделей реальных систем.

Об основаниях общей теории систем. По представлениям М. Месаровича, общая теория систем призвана дать руководство к построению и анализу абстрактных математических моделей реальных систем [8], т. е. к построению и анализу абстрактных систем. Поэтому основное внимание он уделяет разработке математической теории систем.

Ч. Черчмен развивает представление об обобщенной системе — замкнутой и остающейся замкнутой во всех возможных средах [9] — и указывает на необходимость разработки в рамках общей теории систем понятия обобщенной системы, методов анализа и конструирования реальных систем, приближающихся по своим характеристикам к обобщенной системе.

По существу оба они оттеняют две стороны одного и того же процесса моделирования систем, деятельности человека, строящего модель реального или идеального объекта. М. Месарович говорит о необходимости разработки руководства для выполнения человеком этой деятельности, а Ч. Черчмен указывает на необходимость определения и анализа самой этой деятельности. Конечно, любое руководство для человека-модельера не будет научным, если не будет дано понятие о моделировании как деятельности и не будет проведен анализ этого понятия и самой этой деятельности.

Понятие о человеке-модельере, идея анализа деятельности его как функции некоторой абстрактной обобщенной системы тесно связаны с понятием и старой идеей абстрактной гармонии [10]. Действительно, необходимым условием успешной деятельности человека-модельера, призванного давать адекватные модели реальных систем, является гармония его внутренних душевных и физических сил. Нарушение этой гармонии при взаимодействии с окружающей средой, с объектами материального мира — дисгармония — преодолевается человеком-модельером путем построения моделей действительности, моделей объектов, взаимодействие с которыми вызвало нарушение гармонии. Сами же модели служат человеку орудием или оружием, овладевая которыми он получает власть, ограниченную точностью этих моделей.

Однако, так же как старая идея гармонии исчерпывается статичным представлением о гармоническом развитии, т. е. упрощенно отражает реальный процесс, так и идея обобщенной системы не позволяет раскрыть действительный процесс моделирования реальных систем человеком-модельером, а значит и дать руководство к построению и анализу моделей реальных систем. В этом смысле подход М. Месаровича имеет ряд преимуществ.

Прежде всего, им эмпирически выделяются основные виды описаний реальных систем, устанавливаются между ними соответствия и переходы. Кроме того, он указывает на два подхода к описанию систем, эмпирически отражая реальные процессы моделирования.

Проводя конкретный анализ представлений М. Месаровича о моделировании систем, мы вслед за В. А. Штоффом будем считать, что «под моделью понимается такая мысленно представляемая или материально реализуемая система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об объекте» [11].

Тогда, с нашей точки зрения, подход М. Месаровича есть не что иное, как анализ закономерностей построения мысленно представляемых систем как моделей реальных систем. В самом широком смысле его мысленно представляемые системы — это

описания. Так, он выделяет лингвистическое (словесное) описание, явное (теоретико-множественное) и неявное (алгебраическое) описания.

Первый и наиболее общий, с его точки зрения, вид описания состоит в использовании лингвистической формулировки, а лингвистическое определение реальной системы представляет собой множество правильных высказываний (формул) о ней.

Под высказыванием на некотором языке (живом, мертвом или искусственном) он понимает предложение, построенное по правилам грамматики этого языка, но такое, что истинность этого предложения не вытекает из самого его содержания.

Другими словами, предполагается, что высказывание (формула) содержит некоторые свободные переменные и, следовательно, может оказаться истинным для некоторых значений этих переменных. При этом высказывания называются правильными если свободные переменные в них образуют формальные объекты.

Именно тем, как определяются формальные объекты, отличаются по существу между собой лингвистическое и явное (теоретико-множественное) описания систем. В последнем случае в соответствие j -му формальному объекту ставится множество X_j . Формальный объект может принять вид элемента из этого множества, сами эти элементы называются значениями объекта в множестве X_j . В случае лингвистического описания формальные объекты задаются с помощью специальных концептуальных классов высказываний.

При явном описании реальная система представляется как собственное подмножество X_s множества X , которое, в свою очередь, является прямым произведением семейства подмножеств $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_N$, соответствующих отдельным формальным объектам в составе системы, т. е.

$$X_s \subset X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_j \times \dots \times X_N. \quad (1)$$

Естественно, что совокупность тех последовательностей (энок) $a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_N, a_1 \in X_1, a_2 \in X_2, \dots, a_j \in X_j, \dots, a_N \in X_N$, из которых состоит множество X_s , может быть представлена N -арным предикатом L_s на X :

$$L_s(a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_N) = \begin{cases} И, & \text{если } (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_N) \in X_s; \\ Л, & \text{если } (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_N) \notin X_s, \end{cases} \quad (2)$$

где И — истина, Л — ложь.

N -арный предикат L_s соответствует множеству правильных высказываний лингвистического описания реальной системы и является его логическим эквивалентом. Подмножество X_s есть не что иное, как некоторое N -арное отношение S между элементами множеств $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_N$:

$$S \subset X_1 \times X_2 \times \dots \times X_j \times \dots \times X_N. \quad (3)$$

Внешне, в формулировках, различие между лингвистическим и явным (теоретико-множественным) описаниями реальной системы, по М. Месаровичу, состоит в использовании либо предикатов (высказываний), либо отношений. С точки зрения математики обе эти формы эквивалентны и объединяются в понятие алгебраической системы [12]. Если можно между ними искать и найти в чем-то различие, то только в способах определения исходных формальных объектов, которые М. Месарович не анализирует.

Однако как раз трудности задания формальных объектов заставляют его стихийно перейти к рассмотрению третьего, неясного вида описания реальной системы. Он указывает, что в идеальном случае множество формальных объектов может быть бесконечным и само это множество придется задавать лишь индуктивно, т. е. с помощью эффективной процедуры построения.

Поскольку эффективная процедура построения новых элементов из исходных или уже построенных ранее элементов предлагает первоначальное задание множества исходных элементов, очевидно, конечного множества, то М. Месаровичем вводится требование формирования множества высказываний, определяющих исходный характер формальных объектов, используемых для построения новых видов объектов. В то же время, после задания исходных элементов (например, алфавита) и эффективной процедуры построения (например, операции конкатенации) новых элементов (например, слов) из исходных или уже построенных ранее, он предлагает ввести условие замыкания, в силу которого элементами множества X_j могут оказаться лишь элементы исходного множества или, точнее, множества, полученного из исходного с помощью эффективной операции построения. Вследствие этого множество X_j оказывается абстрактным, математическим множеством с заданной на нем процедурой, операцией образования более сложных элементов из простых. В нем подмножество базовых элементов является конечным, их исходный характер определен множеством высказываний, также конечным.

Другими словами, М. Месарович проводит известную мысль о том, что человека-модельера среди математических структур интересуют структуры с конечным базисом и конечно определяемые. Вопрос о том, как свести реальную систему, характеризующуюся неисчерпаемостью свойств, к конечно определяемой математической структуре с конечным базисом, им не ставится и не решается.

Можно только предположить, что сам человек-модельер обладает этой способностью или же такое интегрирующее целое, как организация, в которую он входит, в каких-то условиях обладает такими свойствами, которые проявляются как требуемые способности его элементов — членов организации. С одной

стороны, множество этих свойств должно быть конечно определимо, с другой — количество основных способностей членов организации, как и число самих этих членов, конечно.

Акцентируя внимание на идее обобщенной системы, Ч. Черчен, видимо, имеет в виду возможность постановки и решения в каком-то приближении вопроса об обозримости фундаментальных свойств человека-модельера, очевидно, в рамках гармонических общественных отношений. Об этом же свидетельствуют выполняемые в этом направлении работы Р. Акофа и Ф. Эмери по конструированию пространства личности [13].

М. Месарович, пытаясь найти выход из назревшей трудной ситуации, делает еще один шаг в анализе деятельности человека-модельера. Он вводит представление о двух подходах к описанию реальных систем: терминальном и телеологическом. Названные уже три вида описаний, по его представлению, не выходят за рамки терминального подхода, т. е. подхода, при котором описание реальной системы рассматривается как конструирование некоторого отношения между формальными объектами (термами).

При втором подходе предполагается, что известны некоторые инвариантные аспекты поведения системы, отражающие ее цель. Кроме того человек-модельер в этом случае имеет представление о действиях системы, обеспечивающих достижение этой цели. Это, в самом деле, целенаправленный (телеологический) подход к моделированию систем. Конечно, в инвариантных аспектах для М. Месаровича кроется искомая конечная определимость свойств и существование соответствующей математической структуры с конечным базисом.

Действительно, при телеологическом подходе к описанию реальной системы, кроме семейства множеств X_j , $j = \overrightarrow{1, N}$, обычно задается семейство множеств V_k , $k = \overrightarrow{0, M}$ (в общем случае $M \neq N$), называемых множествами возможных затрат (например возможных материальных затрат). Элементы множества V_k упорядочены отношением \geq , и существуют отображения $g: X \rightarrow V_0$, $g_j: X_j \rightarrow V_j$, $j = \overrightarrow{1, N}$, $g_{ij}: X_i \times X \rightarrow V_{i+j}$, $i, j = \overrightarrow{1, N}$ и др., называемые целевыми функциями системы. Поскольку цель реальной системы непосредственно не наблюдаема, а проявляется лишь косвенно, в устойчивом противодействии системы попыткам вызвать определенные изменения ее поведения (движения), то при технологическом подходе с помощью предельного перехода и полного перебора предельных вариантов поведения часто удается описать конкретную систему в инвариантных аспектах ее поведения (с определенной точностью) как конечно определимую и имеющую конечный базис. На вопрос о том, достижимо ли это для любой конкретной системы, технологический подход ответа не дает.

Но именно в технологическом подходе, в его исследовании М. Месарович в наибольшей степени приближается к подходу Ч. Черчмена, который уже ставит вопрос о реальном существовании и о осуществимости проекта создания обобщенной системы, способной замыкаться во всех возможных средах, т. е. эффективно противодействовать попыткам вызвать любые изменения в ее поведении. Его отрицательный ответ на этот вопрос, сопоставляемый В. Т. Мещеряковым [10] с отрицательным ответом на вопрос об осуществимости абсолютной гармонии, противоречит фактам широкого распространения целесообразных, целенаправленных и целеустремленных систем в живой природе, в технике и в обществе соответственно. Научно обоснованные ответы на эти вопросы может дать только теория согласования.

Список литературы: 1. *Медведков Ю. В.* Социальная география и геосистемы.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1980, 6, с. 108—122. 2. *Родман Б. Б.* Развитие культурного ландшафта и геобионические закономерности его формирования.— *Вопр. географии*, 1980, 113, с. 117—127. 3. *Кузнецов Б. Г.* История философии для физиков и математиков.— М.: Наука, 1974.— 352 с. 4. *Альбрехт Э.* Критика современной лингвистической философии: Спецкурс лекций.— М.: Наука, 1973.— 365 с. 5. *Алексеев М. Н.* Предмет и структура марксистской философии: Спецкурс лекций.— М.: Наука, 1973.— 365 с. 6. *Волгин Л. Н.* Принцип согласованного оптимума.— М.: Сов. радио, 1977.— 144 с. 7. *Мещеряков В. Т.* Соответствие как отношение и принцип.— Л.: Наука, 1975.— 104 с. 8. *Месарович М.* Основания общей теории систем.— В кн.: *Общая теория систем*. М., 1966, с. 183—186. 9. *Мещеряков В. Т.* Гармония и гармоническое развитие.— Л.: Наука, 1976.— 119 с. 10. *Штофф В. А.* Моделирование и философия.— М.; Л.: Наука, 1966.— 301 с. 11. *Мальцев А. И.* Алгебраические системы.— М.: Наука, 1970.— 392 с. 12. *Акоф Р., Эмери Ф.* О целеустремленных системах.— М.: Сов. радио, 1974.— 271 с.

Поступила в редколлегию 02.04.84.

УДК 331.015.11:65.015

Е. В. ЖОРНИК

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗУЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА, УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Существует большой класс операторских профессий, связанных с управлением подвижными объектами по воспринимаемым (большую частью визуально) параметрам движения. К числу систем управления, использующих такого рода операторскую деятельность, можно отнести различные транспортные средства, многие виды телемеханически управляемых промышленных объектов, управляемые с Земли космические аппараты и т. д.

Способность оператора управлять такими объектами обеспечивается благодаря восприятию характеристик движения, предвидению дальнейшей динамики управляемого объекта и выработке на этой основе управляющего воздействия. Возмож-

ность предвидения объясняется тем, что человек способен к рас-судочной деятельности, формированию динамических образов, навыков, а также некоторыми другими его свойствами. О спо-собности предвидеть следует сказать, что ни одна целенаправ-ленная деятельность не может быть эффективной без предска-зания хода событий, прогнозирования, формирования образа будущей ситуации. Эта способность подробно освещена в психо-логической и физиологической литературе. Достаточно сказать, что образовался класс фундаментальных понятий, таких как «опережающее отражение», «модель потребного будущего», «установка», предвосхищение, антиципация, экстраполяция и т. д., которые связаны с предвидением. Каждое из названных понятий подчеркивает определенные черты данного свойства.

Основательная попытка установить соотношение названных понятий была предпринята в работе [1]. На основе анализа авто-ры пришли к выводу о том, что наиболее приемлемым для пси-хологического понятийного аппарата является понятие антици-пации. Отмечается, что антиципация как фундаментальное свой-ство психики охватывает различные уровни психического отра-жения. Предлагается различать антиципацию на пяти уровнях: сенсомоторном, перцептивном, представлений, речемыслительном и субсенсорном. Естественно, что каждый из названных уровней может быть включен в деятельность оператора и играть в ней ведущую или второстепенную роль.

В инженерно-психологических исследованиях проблема анти-ципационных свойств оператора чаще всего рассматривалась на примере реакций на движущийся раздражитель (РДО) [2], а также компенсаторного и преследующего слежений [3]. Ука-занные типы реакций сравнительно просты. Они включают в себя оценку одного-двух параметров движения, их можно отне-сти к сенсомоторному уровню антиципации. Однако в реальной деятельности операторов, управляющих подвижными объектами, воспринимается, как правило, большее количество признаков самого движущегося объекта и, кроме того, несколько признаков условий протекания движения. Покажем это на примере опера-торов горочного поста железнодорожной сортировочной горки.

Современная автоматизированная сортировочная горка пред-ставляет собой сложную систему «человек — машина». В ней человек-оператор с помощью средств отображения информации и органов управления осуществляет управляющие воздействия на ход роспуска и формирования поездов. В этой системе чело-век играет главную роль и во многом определяет ее эффектив-ность. Достаточно сказать, что около 70 % сбоев и нарушений заданной программы вызывается ошибками оператора [4].

Оператор горочного поста выполняет большое количество функций. Главные из них — дистанционное управление стрелка-ми и сигналами, телемеханическое управление тормозными уст-ройствами, которые регулируют скорости расцепленных вагонов,

скатывающихся с горки. В то время как первая из названных функций сравнительно легко поддается автоматизации, вторая, как правило, остается за человеком, как более сложная и требующая повышенной ответственности. Ошибки, совершаемые оператором при телеуправлении скоростью вагонов, приводят к их сильным столкновениям и порче грузов.

Содержание действий по управлению скоростями вагонов состоит в следующем. При появлении скатывающегося вагона на управляемом участке склона горки оператор оценивает группу признаков, характеризующих движение. В их число входят: скорость движения; масса, тип и ходовые качества вагонов; направление и скорость ветра; температура воздуха и наличие осадков; состояние тормозного устройства; сопротивление движению рельсового пути (наличие стрелок и поворотов); расстояние до движущегося впереди вагона и формируемого состава и др. Важность признаков для каждого отдельного действия не остается постоянной в ходе работы.

На основании восприятия и оценки этих признаков осуществляется антиципация характеристик движения вагонов. В соответствии с этим выполняется дозированное по продолжительности управляющее воздействие, определяющее силу торможения. Обратная связь, т. е. контроль адекватности управляющих воздействий, осуществляется по визуальной оценке образующейся в ходе торможения скорости и по конечному результату, т. е. по образовавшемуся интервалу между вагонами или плавности подхода к формируемому составу.

Таким образом, в группе признаков, воспринимаемых оператором горочного поста, масса и скорость относятся непосредственно к самому объекту управления, а погодные условия и состояние рельсовых путей — к условиям движения. Все сказанное позволяет нам считать, что ведущим в структуре деятельности оператора горочного поста является перцептивный уровень антиципации.

Литературный обзор по проблемам антиципации [1] привел авторов к выводу, что работ, посвященных экспериментальному изучению перцептивной антиципации, почти нет. Проведенный нами литературный обзор показал, что до сих пор не установлены сведения о влиянии количества и особенностей перцептивных признаков на качество антиципации. Для проведения такого исследования потребуются создать модель, имитирующую динамику управляемого объекта.

В работе, посвященной моделированию в эксперименте действий, основанных на антиципации, С. Г. Геллерштейн указывал, что главное условие успешности такого рода исследования состоит в том, что предвосхищающие действия должны быть психологически верно воспроизведены в модели [5]. Для обеспечения такой психологической верности необходимо, чтобы экспериментальная установка позволяла получать зрительные стимулы

движущиеся с угловыми скоростями, соответствующими движению управляемых объектов (вагонов). При этом следует предусмотреть возможность отображения необходимого числа перцептивных признаков и возможность варьировать их данные.

Не менее важно обеспечить возможность оказания регуляторных воздействий со стороны оператора и получение им информации о течении управляемого процесса. При этом мы получаем возможность, по результатам деятельности оценивать ее эффективность. Такая установка находится в стадии разработки.

Список литературы: 1. Ломов Б. Ф., Сурков Е. Н. Антиципация в структуре деятельности.— М.: Наука, 1980.— 280 с. 2. Ломов Б. Ф. Человек и техника: Очерки инженерной психологии.— М.: Сов. радио, 1966.— 464 с. 3. Гафоров А. З. К проблеме перцептивной экстраполяции.— В кн.: Сенсорные и сенсорные процессы. М.: Педагогика, 1972, с. 237—243. 4. Иванченко В. Н. Инженерная психология на железнодорожном транспорте.— Ростов н/Д: РИИЖТ, 1975.— 64 с. 5. Геллерштейн С. Г. Действия, основанные на предвосхищении, возможность их моделирования в эксперименте.— Пробл. инж. психологии, 1966, вып. 4, с. 142—154.

Поступила в редколлегию 02.02.84.

УДК 681.518.54

Г. П. ФАСТОВЕЦ, В. И. ИВАНОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПСЕВДОРАЗРЫВА ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Наличие обратных связей (ОС) характерно для больших систем (биологических, технических) [1, 2]. При диагностировании таких систем возникает необходимость выполнять псевдоразрыв ОС, т. е. создавать условия, эквивалентные физическому разрыву ОС. Выполнение процедуры псевдоразрыва (далее просто разрыва) рассмотрим для цифровой последовательностной схемы (ПС) и свяжем со следующими условиями. 1. Разрыв всех ОС. 2. Отсутствие разрывов в запрещенных линиях. 3. Наличие разрывов в заданных линиях. 4. Минимизация общего количества разрывов.

Моделью произвольной ПС, содержащей ОС, является оргграф, вершины которого соответствуют эквипотенциальным линиям, а дуги — функциональным связям между линиями. Вершины оргграфа нумеруются от 1 до N . Модель представляется списком достижимости L , имеющим $|L|=N$ записей, где N — количество вершин оргграфа.

Каждая запись $L_i \in L$ имеет вид: $L_i = \{K, J, \dots, M\}$, где $I, |K|, |J|, \dots, |M| \leq N$, а $|L_i| \leq N$. K, J, \dots, M — номера вершин, которых можно достигнуть из вершины I . Номера вершин, не являющихся непосредственными преемниками вершины I , отрицательны.

Преобразуем модель ПС в модель нескольких или одной сильно связанной компоненты (ССК) [1—3]. Для этого проанализируем все $L_i \in L$.

Если $I \in LN_i$ и $-\bar{I} \in LN_i$, то L_i уничтожается полностью, так как в этом случае вершина I не входит ни в какой контур. В противном случае уничтожаются отрицательные элементы LN_i . В результате $|L| = N' \leq N$.

Определим $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, где $m \leq N$, $(x \in X) = I \in L_i \in L$, а $|X| = N'$. После этого для каждого LN_i выполним следующую процедуру: $LN_i / (LN_i / X)$. Теперь преобразованный список L представляет собой модель одной или нескольких ССК; $L_i \in L$ имеет вид

$$I; LN_i = \{K, J, \dots, M\}, \quad (1)$$

где $I, K, J, \dots, M \leq N$, а $|L| = N' \leq N$ и описывает все $V = |LN_i|$ дуг: IK, IJ, \dots, IM , исходящих из вершины I ССК.

Далее посредством оригинального алгоритма обработки списка L получим за B проходов алгоритма B списков, описывающих все контуры, для B ССК. Алгоритм основан на эмуляции физического процесса параллельного распространения сигнала по всем контурам ССК, имеющейся в цифровой схеме. Предположим, $B = 1$, а полученный список обозначим LP ; $|LP| = c$, где c — количество контуров ССК. Каждая запись $LP_i \in LP$ имеет вид $LP_i = \{I, K, J, \dots, M\}$, где $1 \leq i \leq c$, а $I, J, K, \dots, M \leq N$. $LP_i \in LP$ представляет собой описание уникального контура в виде последовательного перечня входящих в него вершин.

Перейдем к рассмотрению условий 1—4. Пусть условие 1 имеет наивысший, а условие 4 — наимизший приоритет. Приоритеты условий 2 и 3 одинаковы. Совместное выполнение противоречивых условий 1 и 4 приводит к NP -полной задаче [4]. Однако предварительное выполнение условия 3, непротиворечивого условию 1, а затем условия 2, непротиворечивого условию 4, позволяет понизить первоначальную сложность совместного выполнения условий 1 и 4, хотя и теперь эта задача сама по себе является в общем случае NP -полной. Тем не менее по отношению к первоначальной она таковой не является, а для большинства практических случаев не относится к классу NP -полных [3].

Условие 2 опишем в виде $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_q\}$, где $z \in Z$ — номер запрещенной вершины, а $q \leq N$. Z может представлять собой множество всех вершин (изначально-эквипотенциальных линий), составивших дерево орграфа).

Условие 3 опишем в виде $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$, где $y \in Y$ — номер заданной вершины, а $l \leq N$. Y может представлять собой множество всех вершин, являющихся физическими выходами ПС, не вошедшее в Z .

Условие корректности требует, чтобы $Z \cap Y = \emptyset$. Выполняя условие 3, проделаем для каждого $LP_i \in LP$ процедуру $LP_i \cap Y$. Если $LP_i \cap Y \neq \emptyset$, то LP_i вычеркивается из LP . В результате

$|LP| = c' \leq c, i \leq c'$. Выполняя условие 2, сделаем для каждого $LP_i \in LP$ процедуру $LP_i = LP_i \setminus Z$. Таким образом, Y представляет собой часть оптимального решения, которое находится полностью после совместного выполнения условий 1 и 4.

Опишем алгоритм получения всех контуров ССК. Пусть сигнал попал в ССК и прошел некоторый элементарный путь [5]

$$\mu = [G, H, \dots, I], \quad (2)$$

где $G, H, \dots, I \in X$. Из (1) видно, что из вершин I сигнал попадет в V вершин по V различным дугам. Выполним для каждого $LN_{ij} (j \leq V)$ процедуру

$$p_j = \mu \cup LN_{ij} \quad (3)$$

и получим множество путей

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_v\}. \quad (4)$$

Рассмотрим эти пути. Если $\mu \cap LN_{ij} = \emptyset, p_j = [G, H, \dots, LN_{ij}, \dots, I, LN_{ij}]$ не является элементарным и идентифицирует контур $f = [LN_{ij}, F, \dots, I, LN_{ij}]$, содержащий множество дуг $\dot{f} = \{LN_{ij}, F, \dots, I, LN_{ij}\}$, который окончательно запишем в виде $p'_j = \{LN_{ij}, F, \dots, I\}$.

При $\mu \cap LN_{ij} \neq \emptyset$ мы имеем элементарный путь $\mu = [G, H, \dots, I, LN_{ij}]$ и, пользуясь (3) и (4), продолжим построение контура, так как по определению ССК любой элементарный путь внутри ее есть часть контура.

Если E — множество всех дуг ССК, то все контуры будут построены при условии, что каждая $e \in E$ вошла хотя бы в один контур. Докажем это.

Так как модель схемы не является мультиграфом, то из определения 2 следует, что никакой контур в ССК не может быть получен как алгебраическая сумма других контуров, т. е. система $a_1 LP_1 + a_2 LP_2 + \dots + a_i LP_i + \dots + a_c LP_c$ линейно независимая [5]. Тогда система $a_1 LP_1 + a_2 LP_2 + \dots + a_i LP_i + \dots + a_c LP_c + a_{c+1} LP_{c+1}$ будет линейно независимой в том случае, если в LP_{c+1} содержится дуга, не принадлежащая E , что является противоречием.

Формальная процедура состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Зададим $LP = \emptyset$. Определим E .

Шаг 2. Определим $PP = \{pp_1, pp_2, \dots, pp_n, \dots, pp_w\}$, причем в общем случае справедливо $|PP| = W$. Зададим $PP = \emptyset$.

Шаг 3. Определим множество S и зададим $S = \emptyset$.

Шаг 4. Предположим $I = (x \in X)$.

Шаг 5. Определим μ согласно (2).

Шаг 6. Зададим параметр $h = 0$.

Шаг 7. Определим P согласно (2) — (4).

Шаг 8. Для каждого p_j выполним процедуру $\mu \cap LN_{ij}$. Если $\mu \cap LN_{ij} = \emptyset, S = S \cup p_j$; иначе $E = E \setminus (E \cap \dot{f})$ и $LP = LP \cup p'_j P = P \setminus p_j$.

Шаг 9. Если $h = 0$, зададим $h = 1$ и перейдем к шагу 11; иначе $n = n + 1$.

Шаг 10. Если $n \leq \mathcal{W}$, зададим $I = LN_{I_n}$, $\mu = \rho\rho_n$, $PP = PP/\rho\rho_n$ и перейдем к шагу 7.

Шаг 11. Если $E = \emptyset$, алгоритм закончен; иначе $PP = PP \cup S$ и зададим $n = 1$.

Шаг 12. Зададим $S = \emptyset$, определим \mathcal{W} и перейдем к шагу 10.

В качестве примера рассмотрим граф, изображенный на рисунке.

Пусть $Z = 1, 2, 5, 7$; $Y = 6$; $Z \cap Y = \emptyset$. Список достижимости L выглядит следующим образом:

1; 2, 3, -5, -6, -7

2; 5, -3, -6, -7, -2

3; 2, -5, -6, -7, -3

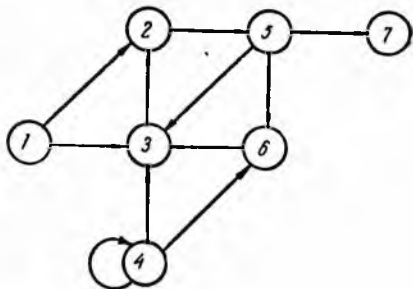
4; 3, 4, 6, -2, -5, -7

5; 3, 6, 7, -2, -5

6; 3, -2, -5, -7, -6

7;

Записи 1 и 7 уничтожаются полностью; в остальных записях уничтожаются отрицательные элементы. Тогда L имеет вид



Оргграф последовательной схемы

2; 5
3; 2
4; 3, 4, 6
5; 3, 6, 7
6; 3,

а $X = 2, 3, 4, 5, 6$. Окончательно получим L :

2; 5
3; 2
4; 3, 4, 6
5; 3, 6
6; 3.

Отметим, что L описывает две ССК: одна содержит вершины 2, 3, 5, 6; вторая содержит единственную вершину 4, так как в нее невозможно попасть из вершины 2, 3, 5, 6. Поэтому запись 4; 3, 4, 6 перепишем в виде 4; 4 и временно исключим из рассмотрения.

Выполнив последовательно шаги алгоритма 1—6, получим $LP = \emptyset$, $PP = \emptyset$, $S = \emptyset$; $\mu = 2$; $h = 0$, $I = 2$, $E = 2.5, 3.2, 5.3, 5.6, 6.3$. Выполнив шаг 7, получим $P = 2.5$. Выполнив шаг 8, так как $2 \cap 5 = \emptyset$, получим $S = 2.5$; $LP = \emptyset$; $P = \emptyset$. Выполнив шаг 9, так как $h = 0$, зададим $h = 1$ и перейдем к шагу 11. Выполнив шаг 11, так как $E \neq \emptyset$, получим $PP = 2.5$; $n = 1$. Вы-

полнив шаг 12, зададим $S = \emptyset$, определим $W = 1$ и перейдем к шагу 10. Выполнив шаг 10, так как $1 \leq 1$, зададим $I = 5$; $\mu = 2.5$; $PP = PP \setminus 2.5 = \emptyset$ и перейдем к шагу 7. Выполнив шаг 7, получим $P = 2.5.3, 2.5.6$. Выполнив шаг 8, так как $2.5 \cap 3 = \emptyset$, получим $s = 2.5.3, 2.5.6$. $LP = \emptyset$; $P = \emptyset$. Выполнив шаг 9, так как $h \neq 0$, зададим $h = 1 + 1 = 2 = 1 + 1 = 2$ и перейдем к шагу 10. От шага 10, так как $2 \leq 1$, перейдем к шагу 11. Выполнив шаг 11, так как $E \neq \emptyset$, получим $PP = 2.5.3, 2.5.6$, и зададим $n = 1$. Выполнив шаг 12, зададим $S = \emptyset$, определим $W = 2$ и перейдем к шагу 10. Выполнив шаг 10, так как $1 \leq 2$, зададим $I = 3$; $\mu \neq 2.5.3$; $PP = 2.5.6$ и перейдем к шагу 7. Выполнив шаг 7, получим $P = 2.5.3.2$. Выполнив шаг 8, так как $2.5.3 \cap 2 = 2 \neq \emptyset$, получим $LP = 2.5.3, f' = 2.5, 5.3, 3.2$. $S = \emptyset, E = 2.5, 3.2, 5.3, 5.5, 6.3 \setminus 2.5, 5.3, 3.2 = 3.2 = 5.6, 6.3$. $P = P \setminus 2.5.3.2 = \emptyset$. Выполнив шаг 9, так как $h \neq 0$, получим $n = 1 + 1 = 2$. Выполнив шаг 10, так как $2 \leq 2$, зададим $I = 6$; $\mu = 2.5.6$; $P = 2.5.6 \setminus 2.5.6 = \emptyset$ и перейдем к шагу 7. Выполнив шаг 7, получим $P = 2.5.6.3$. Выполнив шаг 8, так как $2.5.6 \cap 3 = \emptyset$, получим $S = 2.5.6.3$; $P = 2.5.6.3 \setminus 2.5.6.3 = \emptyset$. Выполнив шаг 9, поскольку $h \neq 0$, получим $n = 2 + 1 = 3$. От шага 10, так как $3 \leq 2$, перейдем к шагу 11. Выполнив шаг 11, так как $E \neq \emptyset$, получим $PP = 2.5.6.3$ и зададим $n = 1$. Выполнив шаг 12, зададим $S = \emptyset$, определим $W = 1$ и перейдем к шагу 10. Выполнив шаг 10, так как $1 \leq 1$, зададим $I = 3$; $\mu = 2.5.6.3$; $PP = 2.5.6.3 \setminus 2.5.6.3 = \emptyset$ и перейдем к шагу 7. Выполнив шаг 7, получим $P = 2.5.6.3.2$. Выполнив шаг 8, так как $2.5.6.3 \cap 2 = 2 \neq \emptyset$, получим $LP = 2.5.3, 2.5.6.3, E = 5.6, 6.3 \setminus 5.6, 6.3 = \emptyset, P = P \setminus 2.5.6.3.2 = \emptyset$. Выполнив шаг 9, поскольку $h \neq 0$, получим $n = 1 + 1 = 2$. От шага 10, так как $2 \leq 1$, перейдем к шагу 11. Выполнив шаг 11, так как $E = \emptyset$, закончим алгоритм.

LP содержит записи 2.5.3. и 2.5.6.3. Обработав алгоритмом запись 4; 4, добавим к LP запись 4. Окончательно LP примет вид 2.5.3, 2.5.6.3, 4.

Выполнив условие 3, исключим из LP запись 2.5.6.3. После выполнения условия 2 LP примет вид 3, 4.

Оптимальное решение получится следующее: $Y_n\{3, 4\} = \{6, 3, 4\}$.

В заключение покажем, что алгоритм конечен. Пусть в ССК каждая вершина связана дугой с каждой вершиной, т. е. степень полуйсходна любой вершины равна c . Это означает что любая перестановка любого сочетания вершин есть контур. В этом случае количество контуров выражается числом $Q = \sum_{i=1}^c (i!) G_i^c$.

Список литературы: 1. Автоматизированная система контроля и диагностики цифровых ячеек / А. Г. Биргер, А. В. Боярышников, Е. Т. Гурвич и др. — Обмен опытом радиопром-сти, 1978, № 4—5, с. 40—48. 2. Putzolu G. R., Roth J. P. A heuristic algorithm for the tes inq of asynchronous circuits. — IEEE Transaction computers, 1982, с-20, № 6, p. 641—642. 3. Харари Ф.

Теория графов.— М.: Мир, 1973.— 300 с. 4. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.— М.: Мир, 1982.— 416 с. 5. Цой С., Цхой С. М. Прикладная теория графов.— Алма-Ата: Наука, 1971.— 500 с.

Поступила в редколлегию 26.03.84.

УДК 612.82.014.001.57

Г. А. КОЛОТЕНКО, канд. техн. наук, А. Т. ФИЛАТОВ,
д-р мед. наук, Т. И. АХМЕДОВ, канд. мед. наук

МОДЕЛЬ РОТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДОМИНАНТНЫХ СИСТЕМ ПОТЕНЦИАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Бионическое моделирование множества доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга представляет одну из актуальных проблем, решение которой имеет важное значение для робототехнического автоуправления и авторегулирования.

Цель статьи — описать моделирование «ротационных» систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга.

Если считать, что каждая иерархическая подсистема пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга инвариантна по отношению к разнообразному преобразованию координат метрического криволинейного пространства поля биоэлектрической активности целостного мозга, то при этом проявляются их скалярные свойства. Если же компоненты векторов множества иерархических систем пространственно-временных потенциалов головного мозга преобразовываются по тем же формулам, что и их векторы, то они ковариантны.

Допустим, множество систем пространственно-временных потенциалов головного мозга изменилось относительно исходного состояния на косинус угла. Тогда квадрат определителя Δ в тензорном исчислении равен

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{vmatrix},$$

где $\Delta = \pm 1$. При $\Delta = +1$ координаты систем пространственно-временных потенциалов головного мозга могут быть совмещены в однополярной области. Преобразование координат множества этих систем в данном случае может быть названо преобразованиями движения. При $\Delta = -1$ преобразования происходят в противоположных областях.

Псевдополярные системы синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга при различных функциональных состо-

яниях организма сохраняют массу, но меняют знак на противоположный.

Псевдовектор систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях характеризует системы преобразования движения (плюс вверх) и образование отображения (минус вниз), т. е. $\Delta = \pm 1$. Псевдовектором или аксиальным вектором иерархических подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга является ротор истинного вектора $\text{rot } \vec{r}$.

Переход доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга от предыдущего состояния организма к последующему в первом приближении может быть идентифицирован с помощью мультипликативного тензора или диады T , отображающей при переходе всевозможные произведения подсистем действительных векторов этих систем пространственно-временных взаимосвязей между биопотенциалами.

Каждая система пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях может быть представлена симметричной и асимметричной частями:

$$T \equiv \frac{1}{2}(T + T') + \frac{1}{2}(T - T') = s + A,$$

где симметричная часть s характеризуется тем, что она равна

$$s \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{pmatrix}$$

и симметрична относительно главной диагонали.

Асимметричная часть множества доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях организма формулируется аналогичной матрицей при условии $A_{11} = A_{22} = A_{33} = 0$. Асимметричная часть доминантных иерархических подсистем пространственно-временных связей головного мозга равна

$$A \begin{pmatrix} 0 & A_{12} & -A_{31} \\ -A_{12} & 0 & A_{32} \\ A_{31} & -A_{23} & 0 \end{pmatrix}.$$

Скалярное произведение двух идентичных тензоров доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга равно квадрату модуля тензора этих систем:

$$T^2 = T_{ij}T_{ij}.$$

Тензорным произведением тензоров P , Q , ... множества доми-

нантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга называется тензор с компонентами:

$$(pQ \dots)_{ij} = p_{ik} \dots Q_{kj} \dots$$

Тензорная единица E множества доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга не зависит от областей полярности, т. е. безразлично направление систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга:

$$E = \begin{cases} 1, & i = j = \dots, \\ 0, & i \neq j \neq \dots \end{cases}$$

Геометрическим представлением тензорной единицы является сфера. Тензоры множества доминантных систем пространственно-временных потенциалов мозга такого рода называются сферическими. Скалярное произведение E, T систем пространственно-временных потенциалов головного мозга равно сумме диагональных компонент тензора T : $ET = T_{ij} \dots$

Из T сферических доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга можно составить скалярные комбинации: линейные, квадратные и кубические инварианты тензора анализируемых систем.

Система пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, отображаемая уравнениями поверхности второго порядка при диагональных положительных компонентах может быть представлена эллипсоидом. Эллипсоидные системы пространственно-временных потенциалов головного мозга характеризуются инерцией, деформацией, напряжением.

Из мультипликативного тензора доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга можно выделить сферическую $T^{(s)}$ и девиаторную $T^{(d)}$ части: $T = T^{(s)} + T^{(d)}$, где $T^{(s)} = \frac{1}{3} JE$, $T^{(d)} = T - \frac{1}{3} JE$, J — линейный инвариант тензора доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях организма.

Ранее установленная часть A множества систем пространственно-временных потенциалов головного мозга определяет девиатор. Аналогичными свойствами обладают тензоры множества доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга иерархических структур n -го ранга, где $n = 1, 2, 3, \dots, l, \dots, m$.

Кибернетический анализ синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга позволяет объективно дифференцировать тензоры систем этих потенциалов целостного мозга в пространстве и времени, а следовательно, различать функциональное состояние организма, например, при психотерапевтическом воздействии.

Вес дифференцируемых доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга в любой момент времени t в зависимости от величины ЭЭС выборки можно характеризовать переменными Лагранжа $x = \varphi_1(t; a, b, c)$, $y = \varphi_2(t; a, b, c)$, $z = \varphi_3(t; a, b, c)$.

Тогда проекции скорости \vec{u} , \vec{v} , \vec{w} развития доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга и соответствующих им ускорений \vec{u} , \vec{v} , \vec{w} при гомоморфном моделировании множества этих систем можно представить так:

$$\vec{u} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial t}, \quad \vec{u} = \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2}; \quad \vec{v} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial t}, \quad \vec{v} = \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2}; \quad \vec{w} = \frac{\partial \varphi_3}{\partial t}, \quad \vec{w} = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial t^2}.$$

Если вероятное нарастание веса доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга соответствующего функционального состояния промоделировать полем скоростной, то идентификацию можно произвести при помощи переменных Эйлера: $u = u(x, y, z, t)$; $v = v(x, y, z, t)$; $w = w(x, y, z, t)$.

Переменные Эйлера позволяют фиксировать точки моделируемого объемного пространства, относительно которых в разные моменты времени вес различных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, накапливаясь, изменяется.

Тензоры множества доминантных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга отображают деформацию и поступательно-вращательное движение.

При перемещении поля биоэлектрической активности головного мозга, распределенного в пространстве и времени, в ряде областей формируются векторные линии ряда разобщенных полей биоэлектрической активности с угловыми $\vec{\omega}$ и роторными скоростями $\text{rot } \vec{v} = 2\vec{\omega}$. Вокруг каждой «автономной» области поля биоэлектрической активности целостного мозга образуются независимые на определенном этапе развития роторные (вихревые) магнитные линии, в совокупности образуя структурную сеть маломощных, маловыраженных, маловероятных импульсных биоманнитных полей головного мозга в диапазоне частот проведенных измерений.

Ротор скорости и угловая скорость биоэлектрического поля головного мозга в настоящее время не измеряются существующими биоэлектромедицинскими контрольно-измерительными приборами. Поэтому можно только предполагать, что контур c каждой независимой области поля биоэлектрической активности в определенные моменты времени замкнут. Циркуляцию Γ вектора \vec{t} биоманнитного поля, обусловленного, в частности, каждой областью поля биоэлектрической активности по контуру c в приближенно-

модельном представлении, можно описать криволинейным интегралом: $\Gamma = \oint \vec{m} d\vec{r}$, где $d\vec{r}$ — направленный элементарный элемент дуги кривой контура области поля биоэлектрической активности головного мозга.

Как видно, ценность такого системно-кибернетического подхода — в возможности представления аналоговых переходов от множества локальных синхронных и асинхронных областей к диффузному полю биоэлектрической активности, находящегося в органической сопряженности с доминантными зонами и центрами системы импульсного возбуждения целостного мозга при различных функциональных состояниях организма. Биоэлектрически малоактивные пространства полей головного мозга, вероятно, могут отображаться разрывами функций первого и второго рода.

Если предположить, что \vec{m} — вектор скорости «наводимого» биомагнитного поля целостного мозга, то, согласно теореме Стокса, интенсивность «облакообразного» поля биоэлектрической активности центра, отображаемого ротационной или, проще говоря, вихревой трубкой, равна циркуляции скорости по замкнутому контуру, расположенному на поверхности трубки, ограничивающему соответствующий центр поля вероятностной активности доминантной зоны головного мозга. Информация, полученная по изменению полей биоэлектрической активности в центрах головного мозга при определенных функциональных состояниях, характеризуется дискретным информационным полем.

Если предположить, что приоритет в формировании поля биоэлектрической активности принадлежит биоионной плазме малой плотности, то скорость векторов \vec{m} биомагнитного поля целостного мозга незначительна и несовместима с релятивистскими скоростями. Возможное наличие поля биоэлектрической активности во внутримозговой среде, имеющей, согласно функциональному состоянию, градиент общей направленности, не исключает малых, поляронных векторных скоростей \vec{m} . Но даже эти две составляющие, формирующие поля биоэлектрической активности, вызывают изменение циркулирующих скоростей \vec{m} маловероятных биомагнитных полей в широком диапазоне. Частота их акцентрированно проявляется в зависимости от функциональных и экстремальных состояний целостного организма.

При интегральном проявлении «сплошного» поля генерализованной, гиперсинхронной биоэлектрической активности головного мозга (например, в предельном случае, когда доминантными и интенсивными оказываются локальные участки целостного мозга) обнаруживается возможность по обратной связи целенаправленно корректировать изменение поля биоэлектрической активности целостного мозга по частоте, мощности «излу-

чения» (по П. К. Анохину). Это изменение проводит в предельном случае к перестройке пространственно-временной топологии центров и доминантных биоэлектрических зон, вероятно активированных системой импульсного возбуждения мозга.

Если в пространстве среды имеется такое множество центров поля биоэлектрической активности головного мозга, характеризующих одну из энергетических сторон доминантности системы импульсного возбуждения целостного мозга с интенсивностями $i_1, i_2, \dots, i_i, \dots, i_m$, то в некоторых случаях «близкое» поле биоэлектрической активности вокруг доминантных зон, «подпитывающих» эти центры, стремится к маловероятности, «разрываю» сплошного (на котором диффузно распределены синхронные потенциалы) поля биоэлектрической активности головного мозга. Такую модель в первом приближении можно характеризовать формулой $\Sigma i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_i + \dots + i_m$.

В вариабельной пространственно-временной организации эти центры экзальтации и депрессии системы импульсного возбуждения целостного мозга при различных функциональных состояниях организма односвязаны, так как согласованы с теоремой Стокса. Если они будут характеризоваться условно-циклическими постоянными, что возможно при периодическом повторении одного и того же функционального состояния, в частности, возникающих при выработке условных рефлексов, то в соответствии с процессами адаптации между центрами активации системы импульсного возбуждения возникает многосвязность. Асимметричный и симметричный тензоры скоростей деформации A и s поля биоэлектрической активности головного мозга в разные моменты времени меняются в пространстве. Это может быть промоделировано индивидуальным или субстанционным приращением dl , что по отношению к дифференциалу по времени представляет вектор скорости v анализируемого биоэлектрического потока одного из множества центров системы импульсного возбуждения или его субстанциональную производную: $\vec{v} = \frac{d\vec{e}}{dt}$.

Если разность между последовательными значениями v_1, \dots, v_i, \dots обозначить через $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_m$, где $r_1 \neq r_2 \neq \dots \neq r_i \neq \dots$,

то в пространстве декартовой системы координат изменение скорости потока биоэлектрической активности целостного мозга в одном из центров системы импульсного возбуждения можно аппроксимированно отобразить формулой:

$$\vec{v} = \begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} r_1 x + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} r_1 y + \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} r_1 z, \\ \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} r_2 x + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} r_2 y + \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} r_2 z, \\ \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} r_i x + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} r_i y + \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} r_i z. \end{cases}$$

Если $\dot{l}_x, \dot{l}_y, \dot{l}_z$ — скорости относительно объемного расширения, характеризующего при положительной полярности рассеивание, при отрицательной — сжатие потока биоэлектрической активности центра системы импульсного возбуждения целостного мозга, то в трехмерном пространстве они равны

$$\dot{l}_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \dot{l}_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \dot{l}_z = \frac{\partial w}{\partial z}.$$

Скорость относительного объемного расширения и соответственно сжатия элементарного объема биоэлектрического потока центра системы импульсного возбуждения головного мозга равна дивергенции вектора скорости в координате пространства j в момент времени t_{jx} или, иначе говоря, сумме диагональных компонент тензора s или A скоростей деформации соответствующего центра поля биоэлектрической активности головного мозга. Не диагональные компоненты характеризуют скорости скошений углов, которые в интегральном представлении целостной картины отображают спиралеподобное рассеивание поля биоэлектрического потока, генерируемого одним из вероятно экзальтируемых центров поля биоэлектрической активности целостного мозга.

Важность исследований в данном направлении связана с выявлением эффективности коррегирования полей биоэлектрической активности целостного мозга при различных функциональных состояниях организма, а также возможным прогнозированием патологических изменений, вызванных длительным мощным воздействием импульсных электромагнитных полей внешней среды.

Доминантные системы пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга представляют интегративно-разнородный качественный состав частот. Если учесть, что подсистемы пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов целостного мозга взаимодействуют с остальными подсистемами головного мозга, то в соответствии с теорией относительности (наряду с относительностью времени) необходимо допустить относительность длин локальных полей биоэлектрической активности мозга. По аналогии, возможно, что при изменении «длин» систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга необходимо учитывать растяжение и сжатие орбит локальных полей биоэлектрической активности. При растяжении систем пространственно-временных связей головного мозга во времени и пространстве будет удлинение их, при сжатии — сокращение. Сопережение следует понимать как альянс с предсуществовавшим множеством систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга при различных функциональных состояниях организма.

Локальные и диффузные поля биоэлектрической активности головного мозга, являющиеся базисом множества переменных доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга и одной из форм проявления систем электротонического и импульсного возбуждения целостного мозга, в общем представлении регуляции целостного поведения являются тормозящими по отношению к периферическому возбуждению, как и последнее тормозит центральное возбуждение по обратной связи в тот же момент. Единство противоречий возбуждательных и тормозных моментов, которые определяют степень случайности появления полей биоэлектрической активности целостного мозга в их прямой и обратной протинаправленной выраженности, отражает быстроту и инертность развития целостных деятельностей положительного и отрицательного характера.

При конструировании бионических моделей необходимо учитывать коммутационные свойства локальных и диффузных полей биоэлектрической активности, которые проявляются в виде веса систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, организованных в пространстве и времени. Они отображают переход от одной системы частот, имеющей характерные компоненты, к иной, для которой в следующий момент характерна другая пространственно-временная топология систем синхронных и асинхронных потенциалов мозга. Значит, в такой бионической модели мажоритарно-вероятностно отключаются одни системы пространственно-временных взаимосвязей между потенциалами целостного мозга, подключаются — другие. В такой модели параллельная коммутация доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов мозга отражает сложность электродинамики полей церебральных структур.

Более того, как ни парадоксально, одна и та же доминанта подсистем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга может аналогично проявиться при различных целенаправленных возмущениях и различных внутрицентральных пространственно-временных соотношениях. Сложнее обстоит дело при вариантах патологических изменений, когда подобные внутрицентральные отношения могут создать вероятную «похожесть» взаимодействия разных форм возбуждений, большинство из которых выходит за сферу кибернетического анализа предложенного подхода.

Поступила в редколлегию 22.04.83.

РЕФЕРАТЫ

УДК 681.142.2

Некоторые принципы распознавания ошибок в именах. Дедиков Э. А. Чен Р. Н. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 3—6.

Рассматриваются принципиальные вопросы распознавания ошибок в именах, решение которых заключается в организации специальных словарей слов и связей. Дана классификация наиболее часто встречающихся ошибок при формулировании запросов в автоматизированной системе обработки данных. Предложены алгоритмы организации словаря ключевых слов и словаря имен связей.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 519.76:681.3

Методика анализа речевых сигналов по их «динамическим портретам». Бондаренко М. Ф., Николаенко В. Л. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 6—9.

Изложена процедура получения «динамических портретов» речевых сигналов, дана методика анализа отрезков речевых сигналов по их «динамическим портретам», в основе которой лежит метод сечений. Описана организация экспериментов по автоматической обработке речевых сигналов: выбор словаря, стиль произношения, условия записи, характеристика дикторов.

Ил. 1. Библиогр.: 6 назв.

УДК 510.62

Математические модели суффиксального словообразования отсубстантивных существительных с общим значением «носитель предметного признака». Рябова Н. В. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 9—16.

Рассмотрено построение математических моделей суффиксального словообразования существительных русского языка, наделенных предметным признаком. Разработана система признаков, с помощью которых ведется построение морфологических и словообразовательных моделей исследуемых морфов. В качестве аппарата формализации используется алгебра конечных предикатов.

Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 62.506.2

Принципы организации анализа естественных языковых высказываний в системах общения пользователей с ЭВМ. Сообщение 2. Терзиан В. Я. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 17—24.

Рассматривается возможный подход к организации анализа естественных языковых высказываний в диалоговых системах общения. Предлагаются основные правила анализа с использованием аппарата валентностей и процедур формирования умозаключений. Разобраны примеры преодоления неоднозначностей на различных уровнях анализа. Рассмотрена удобная для синтеза выходных высказываний форма представления информации с помощью операции свертки.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

О математическом описании лингвистических законов звуковых сочетаний. Калекина Т. Г. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 24—29.

Построена математическая модель запретов звуковых сочетаний. В качестве языка формального описания использован математический аппарат алгебры конечных предикатов.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 534.785

Компилятивный синтез речи с использованием эффекта сглаживания в слухе. Гаврашенко А. Н., Соколов В. Ю. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 30—33.

Описан один из методов синтеза речи. В основе предлагаемого метода лежит принцип синтеза речевых сообщений из дифонов (сочетаний типа СГ). Работа базируется на психофизическом эффекте сглаживания в слухе.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

Вопросы аппроксимации кривых сложения цвета с помощью функций спектральной чувствительности фотоприемников. Пчелинов В. П., Шляхов В. В., Зелинский А. В. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 33—36.

Описывается принцип построения объективных колориметров, являющихся основным компонентом устройств распознавания цвета, с помощью n -го количества фотоприемников и расчета этих колориметров.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 510.62

О математическом описании фонетических связей между соседними согласными звуками в русской речи. Маленченко З. Ю. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 37—41.

Приведено математическое описание фонетических связей для пар звуков типа согласный—согласный. Описание имеет вид уравнений алгебры конечных предикатов.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

О взаимодействии человека с табло коллективного пользования. Крупнодерев Р. И., Кутняк С. В., Поспелов А. Н., Соловьева О. М. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 41—48.

Рассмотрены вопросы диалогового режима человека с табло коллективного пользования. Проведены исследования систем отображения информации как результирующего устройства принятия решений, на основании которых получен набор элементообразующих, позволяющий максимально упростить взаимодействие человека с табло коллективного пользования. Предложен состав клавиатуры дисплея, управляющего работой табло коллективного пользования.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Исследование условий идентификации изображений при ограничении динамического диапазона яркостей. Иванов М. А. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 48—52.

Проведено исследование влияния ограниченности динамического диапазона реальных систем формирования, передачи и обработки изображений на качество обнаружения и опознавания последних. Показано, в частности, что снижение чувствительности и, особенно, нелинейность характеристик данных систем в ряде случаев могут приводить к существенному ухудшению результатов анализа и идентификации изображений. Результаты работы могут быть использованы при разработке требований к ширине динамического диапазона систем формирования, передачи и обработки изображений, а также для оптимального центрирования положения этого диапазона с учетом априорной информации о характеристиках образов идентифицируемых объектов.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 631.3.01

Об оценке времени и точности ввода операторами текстов ограниченного русского языка при взаимодействии с ЭВМ. Байбаков М. Н., Зубрилкин В. П., Иванов В. М., Судаков Б. Н. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 53—55.

Приведены результаты экспериментальной оценки временных и точностных характеристик работы операторов при взаимодействии с ЭВМ с использованием текстов ограниченного русского языка.
Ил. 3.

УДК 631.3.01

Система обработки ограниченного русского языка. Байбаков М. Н., Судаков Б. Н. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 55—59.

Описана система обработки текстов (СОТ) ограниченного русского языка. Показано, что СОТ выполняет действия в соответствии с директивой, отвечает на вопросы пользователя.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 519.714.71

Метод минимизации одного класса булевых функций с учетом предикатных ограничений. Яковлев С. В., Герасин С. Н. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 59—65.

Предложен алгоритм преобразования к. н. ф. булевой функции в д. н. ф., каждому конъюнкту которой поставлен в соответствие предикат заданного свойства. Требуется определить ту часть д. н. ф., конъюнктам которой отвечает предикат, равный 1. Алгоритм построен на схеме последовательного отсечения и, как доказано, он позволяет получить единственную, минимальную, кратчайшую д. н. ф. из удовлетворяющих указанному свойству.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

Предикаты n -мерной линейности и их характеристические свойства. Ф. Э. Ицков, Д. Э. Ситников, С. Ю. Шабанов-Кушнаренко. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 65—73.

Рассматриваются свойства предикатов n -мерной линейности. Доказываются теоремы об условиях существования предиката n -мерной линейности и несократимости систем характеристических признаков предиката n -мерной линейности.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 514.174

Φ -отображение и некоторые его приложения в задачах геометрического проектирования. Винарский В. Я., Новожилова М. В. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 73—80.

Вводится понятие Φ -отображения как специального отображения, сохраняющего отношение эквивалентности. Описываются применения введенного понятия для построения аналитического описания объединения или пересечения континуальных наборов областей.

Приведены примеры использования Φ -отображений в задачах геометрического проектирования.

Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.142.2

Использование языка логических схем алгоритмов для разработки прикладного программного обеспечения. Рось А. А., Богданов Ю. Г., Косинов А. Н. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 80—87.

Рассматриваются принципы проверки топологической корректности алгоритмов, записанных на языке логических схем, и возможности их использования при разработке прикладного программного обеспечения систем сбора и обработки информации.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

УДК 658.012.001.56:681.5

Имитационное моделирование синтезатора частоты с триггерным фазовым детектором. Воронов В. Г., Кадулин В. И., Мазалов А. Я., Саликов Л. М., Резцов В. П. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 87—89.

Рассмотрена задача моделирования и анализа синтезатора частоты, предназначенного для создания дискретной сетки частот. Приведен алгоритм, позволяющий производить анализ динамических характеристик синтезаторов частот и автоматизировать весь процесс их проектирования.

УДК 612.821.3 : 15 : 001

Ж вопросу о повышении эффективности индивидуального и группового творчества. Сообщение 2. Ильинская Л. С., Ильинский А. П., Любев А. И. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 90—96.

Рассматривается применение активной формы внутренне измененного состояния сознания, а именно состояния повышенной сосредоточенности (СПС) в целях повышения эффективности творческой деятельности путем стимулирования оперирования неосознаваемым «побочным продуктом» (в смысле Я. А. Пономарева), а также путем стимулирования неосознаваемого непосредственного общения участников творческого коллектива.

Библиогр.: 11 назв.

УДК 621 : 612.8

Субъективное восприятие временных интервалов и психофизиологическое состояние человека-оператора. Трошкин А. В. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 96—101.

Представлены результаты экспериментального исследования восприятия 60, 10 и 1 с временных интервалов обследуемыми, которые выполняли операцию сложения при различных уровнях психоэмоционального воздействия.

Показано достоверное различие в субъективной оценке времени при напряженной операторской деятельности и спокойном состоянии. Результаты могут быть использованы в работах, связанных с наблюдением и оценкой состояния человека-оператора в экстремальных условиях.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 62.506.2

Согласование организационных, отражающих биологических и отображающих технических элементов и систем ноосферы. *Сообщение 1.* Зозуля Ю. И. Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 101—109.

Рассматриваются основные проложения теории согласования. Дано аксиоматическое определение ноосферы как среды, в которой организационные, отражающие биологические и отображающие технические элементы и системы находятся в определенном отношении, дополняющем перечисленные системы до единой самоуправляющейся системы. Выявлены требования к структуре формализованной системы социальных показателей как к геометрической ткани, служащей для координации объектов ноосферы.

Библиогр.: 13 назв.

УДК 331.015.11 : 65.015

Об особенностях изучения деятельности оператора, управляющего подвижными объектами. Жорник Е. В. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 109—112.

Проводится психологический анализ деятельности оператора, управляющего подвижными объектами на примере оператора горючего поста. Отмечается ведущая роль антиципации в структуре деятельности. Приводятся общие черты разрабатываемой методики экспериментального исследования антиципации перцептивного уровня.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 68 .518.54

Оптимизация псевдоразрыва обратных связей при диагностировании последовательных цифровых схем. Фастовец Г. П., Иванов В. И. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 112—117.

Рассмотрена процедура оптимального разрыва обратных связей в схеме, моделью которой является оргграф. Предложена оригинальная методика поиска всех контуров, основанная на эмуляции процесса параллельного распространения сигнала по всем контурам оргграфа. Описан алгоритм, реализующий эту методику, и приведено доказательство, что при этом отыскиваются все контуры. Для иллюстрации подробно разобран пример.

Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 612.82.014.001.57

Модель ротационных изменений доминантных систем потенциалов головного мозга. Колотенко Г. А., Филатов А. Т., Ахмедов Т. И. — Пробл. бионики, 1985, вып. 35, с. 117—124.

Доказано, что в норме и при патологии множества систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга имеют многообразный характер. Основные моменты их преобразований в процессе перехода от постоянных составляющих к переменным можно представить в виде истоков и стоков, которые не только деформируются в пространстве и времени, но и вращаются. При разработке бионических роботов эти особенности могут быть использованы для расширения функциональных возможностей.