

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 34

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

Проблемы бионики: Респ. междувед. науч.-техн. сб.— Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985.— Вып. 34. 137 с.

Сборник содержит результаты исследований и математического моделирования процессов автоматической обработки словесной и сенсорной информации. Дальнейшее развитие получил математический аппарат, ориентированный на формальное описание функций человеческого интеллекта. Рассмотрены некоторые задачи синтеза бионических моделей и способы их реализации.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1985 г.

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

Редакционная коллегия: Ю. П. Шабанов-Кушнаренко (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, В. Я. Сердюченко, И. Б. Сироджа, В. Г. Червов

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

Редакция естественнонаучной литературы

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

В ы п у с к 34

Редактор *Н. С. Калинина*. Художественный редактор *В. Е. Петренко*. Технический редактор *Л. Т. Ена*. Корректоры *Л. М. Забродина, Е. В. Сергина*.

ИБ № 9495

Сдано в набор 22.06.84. Подп. в печать 15.10.84. БЦ 09297. Формат 60×90₁₆. Бумага типогр. № 3. Лит. гарн. Вис. печать. 8,5 печ. л. 8,75 кр.-отт. 10 уч.-изд. л. Тираж 1000 экз. Изд. № 1278. Зак. 4-241. Цена 1 р. 40 к.

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

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

© Издательское
объединение
«Вища школа»,
1985

1502000000-002
П М226(04)-85 500-85

А. Ф. ОСЫКА, канд. техн. наук

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В США

Проблема автоматической обработки естественного языка (АОЕЯ) привлекает внимание ученых самых различных специальностей: философов, психологов, лингвистов, математиков, специалистов по искусственному интеллекту и др. Относительно данной проблемы существуют различные мнения, начиная от невозможности автоматизировать понимание естественного языка (ЕЯ) [1] и кончая необходимостью исследовать и моделировать на ЭВМ довольно тонкие процессы понимания ЕЯ человеком [2, 3]. Около 30 % публикаций по искусственному интеллекту, интерактивным системам, психологии понимания, лингвистике посвящены проблемам АОЕЯ.

Рассмотрим работы по автоматическому анализу и синтезу письменного языка. Большое количество таких работ в США, разнообразие их тематики и методов изучения не позволяет остановиться сколько-нибудь подробно даже на самых значительных исследованиях. Данный обзор представляет собой попытку ответить на вопрос: что делается в США в области АОЕЯ? Обзор можно условно разделить на три части: описание систем АОЕЯ и их элементов в соответствии с некоторыми признаками (назначение, подход к анализу ЕЯ и т. д.); краткая характеристика проблем (лингвистических, психологических и т. п.), решаемых в той или иной системе АОЕЯ; схематическое описание устройства и возможностей некоторых систем АОЕЯ.

Назначение системы АОЕЯ — важный признак, определяющий ее многие особенности. Наиболее широко ведутся работы по таким направлениям: создание интерфейса базы данных (БД), использующего ЕЯ [4—6]; разработка -вопросно-ответных систем на основе ЕЯ и программ, понимающих ЕЯ [3, 7, 8]; машинный перевод (МП) [9—11]; моделирование процессов овладения ЕЯ [12—14]; использования ЕЯ в качестве программного языка [15—17]. Многие исследователи не ставят своей целью создание законченной системы АОЕЯ, а решают некоторые частные вопросы этой проблемы: построение алгоритмов синтаксического анализа, синтеза текстов и др. О некоторых из них будет сказано при описании соответствующих компонентов систем АОЕЯ.

Существенным признаком системы является вид анализа, играющего ведущую роль при переходе от предложения на ЕЯ к представлению его значения на внутреннем языке системы. Такой переход обычно осуществляют в два этапа. Сначала определяют синтаксическую структуру предложения, затем на основе результата синтаксического анализа строят семантическое представление предложения, т. е. эксплицитную запись его значения на внутреннем языке системы. Эта схема используется в системах АОЕЯ, возможности которых в теоретическом плане не ограничены тематикой обрабатываемых текстов и структурой допустимых предложений [18—21]. Но практическая реализация подобных систем всегда требует введения указанных ограничений. Суть семантического анализа при таком подходе: на графе синтаксической структуры предложения отыскиваются подграфы определенной конфигурации с заданным типом вершин. Эти подграфы заменяются выражениями на языке семантического представления.

Случаи отклонения от традиционной схемы более многочисленны, чем случаи, ее подтверждающие. Например, в некоторых первых вопросно-ответных системах при анализе вопросов основное внимание уделялось выявлению их синтаксической структуры. Переход к семантическому представлению выполнялся с помощью сравнительно простой процедуры, дополняющей синтаксический анализ [22, 23]. Для выполнения синтаксического анализа предложений наиболее часто применяется грамматика Расширенных Сетей Переходов (Augmented Transition Networks) и некоторые виды грамматик Н. Хомского, для которых построено большое количество алгоритмов, использующих различные стратегии анализа [24—26].

Стала популярной идея непосредственного перехода от предложения к его семантическому эквиваленту, минуя этап синтаксического анализа. Предложены различные методы построения такого семантического анализатора. Например, в программах, разработанных в Йельском университете, главной опорой для анализа сообщения при преобразовании его в сеть Концептуальных Зависимостей служит слово [7, 27, 28]. Оно дает информацию о концептах семантического уровня и предсказывает отношения между этими концептами путем предсказания появления следующих слов в предложении. Безусловно, указанный подход не исключает необходимости проверки соответствия грамматических признаков предсказанных слов. Но она имеет вспомогательный характер, так как не ставит целью описать синтаксическую структуру всего предложения.

В отдельных случаях для построения семантических анализаторов, работающих непосредственно с элементами предложения, используются некоторые подобию формальных грамматик, в которых вместо синтаксических нетерминальных символов вводятся символы семантического языка. Например, в системе

автоматизированного обучения SOPHIE, которая дает сведения о неисправностях в электронных цепях, при анализе запроса на английском языке и построении дерева его семантической структуры ведется поиск таких составляющих: НЕИСПРАВНОСТЬ, ИНСТРУМЕНТ, ТИП СОЕДИНЕНИЯ, ТЕРМИНАЛ и т. д. [29]. Вопросно-ответная система RENDEZVOUS при анализе запросов по поводу доставки грузов морским транспортом применяет правила переписывания предложений. При этом обнаруженные слова или словосочетания, выражающие некоторые концепты, заменяются символами семантического языка [30]. В интерфейсе БД PLANES анализ запроса на английском языке ведется с помощью другого вида семантической грамматики — Расширенной Сети Переходов, дуги которой помечены семантическими категориями [31].

В некоторых вопросно-ответных системах с ограниченной тематикой запросов на ЕЯ для анализа предложений используется метод шаблонов (templates). Разновидностью метода является выделение ключевых слов в предложении с минимальным контекстом слева и справа. Выделенная часть предложения приводится к некоторому стандартному виду и сравнивается со словосочетаниями, которые хранятся в словаре [32]. В вопросно-ответной системе LADDER предложение запроса сравнивается с шаблоном для целого предложения. Шаблон представляет собой фразу определенного типа, в которой сохранены только служебные слова, а на месте полнозначных помещено описание семантики слов, удовлетворяющих данному шаблону [4].

Важная характеристика систем АОЕЯ — использование ею в процессе работы (или неиспользование) знаний о внешнем мире, т. е. хранящейся в памяти ЭВМ модели объектов внешнего мира и отношений между ними. Подобная модель внешнего мира применяется во многих системах АОЕЯ для формирования выходной информации, соответствующей тексту на входе: запросу на ЕЯ, вопросу, сообщению и т. п. Например, для лингвистического интерфейса БД такой моделью служит сама БД [30, 31]. В системах, понимающих связанные рассказы, в вопросно-ответных системах в качестве модели внешнего мира может служить схематическое описание некоторой стандартной ситуации, называемое фреймом [33, 34]; описание привычной последовательности событий, называемое вслед за Р. Шенком скриптом [2, 7]; формальное описание некоторой области знания (методы решения алгебраических уравнений, функционирование и неисправности электронных цепей и т. д.) [29, 35].

Вместе с тем наличие готовой модели внешнего мира не является обязательным условием функционирования системы АОЕЯ. Например, системы МП могут обходиться без нее [9], а вопросно-ответные системы могут формировать локальную

модель (необходимую информационную базу) на основе контекста поступившего сообщения [23].

Имеется и другой аспект применения моделей внешнего мира в системах АОЕЯ. Такая модель может использоваться для формирования выходной информации и в процессе лингвистического анализа входной информации на ЕЯ. Например, представленные в БД отношения между данными могут использоваться в качестве семантического компонента при лингвистическом анализе запроса [31, 36]. Знания о внешнем мире существенно используются в таких семантических анализаторах, которые «понимают» входное сообщение на ЕЯ путем соотнесения его составляющих с элементами модели стандартной ситуации — фрейма или скрипта [8, 34].

Существенный признак системы АОЕЯ — формальный аппарат, применяемый для описания значения предложения или целого сообщения. Для представления семантики используются довольно разнообразные средства: аппарат теории множеств, как обычных [6], так и размытых [37]; формулы исчисления предикатов первого порядка [21]; семантические сети [38]; системы математических уравнений, соответствующих некоторой области знаний [35]; специальные формальные языки, которые сходны с языками программирования и удобны для описания элементарных концептов ЕЯ и отношений между ними [18, 39, 40]; набор семантических конститuent (переменная плюс ее значение в анализируемом тексте) в качестве значения запроса на ЕЯ в специализированной БД [4, 31].

Способ представления семантики текста на ЕЯ зависит от назначения системы АОЕЯ, тематики обрабатываемых предложений, набора операций, выполняемых с поступившей информацией, и т. д. Например, если при переводе запроса с ЕЯ на внутренний язык системы можно не учитывать смысл глаголов в предложениях, то в качестве семантического языка может быть выбран аппарат теории множеств [6]. Для передачи некоторой неопределенности многих языковых понятий иногда удобно использовать аппарат размытых множеств [37].

Часто для ответа на запрос (например, в БД) необходима не просто выдача готовой информации, хранимой в эксплицитном виде в памяти системы, а поиск и установление новых связей между объектами в БД. В этом случае для представления значения запроса, как и свойств объектов в БД, может применяться аппарат исчисления предикатов. При присоединении формул, получаемых в результате анализа запроса, к содержимому БД возникает возможность вывода новых формул, которые характеризуют свойства объектов, указанных в запросе [21].

Одним из распространенных способов формального представления значения текстов на ЕЯ являются семантические сети [38]. В числе первых семантические сети начал использо-

зять Р. Квиллиан, который применил их для описания семантики английских слов [41]. Существует довольно много различных концепций построения семантических сетей, авторы которых стремятся как можно полнее передать значение отдельного слова, предложения или целого сообщения, приблизить формальное понимание текста к его пониманию человеком. Первые семантические сети представляли значение предложения в виде дерева, вершиной которого было нерасчлененное значение глагола. Ветви этого дерева, помеченные символами глубинных падежей Ч. Филлмора, вели к словам, передающим в анализе именем предложения значения соответствующих глубинных падежей [42]. В дальнейшем работа по увеличению выразительных возможностей семантических сетей шла по пути введения новых видов отношений между концептами семантического уровня, разграничения типов вершин, введения кванторных понятий, кодирование механизма дедуктивного вывода в графе семантической сети и т. п. [43, 44].

В качестве примера рассмотрим несколько подробнее средства и возможности языка Концептуальных Зависимостей (КЗ) — особого вида семантических сетей, используемого в Йельском Университете для передачи значения текстов на ЕЯ [3, 7, 8]. Его разработчики стремились сделать представление значения на языке КЗ независимым от ЕЯ. В языке КЗ имеются аналоги предложения концептуального уровня, 6 членов предложения, 6 частей речи, введены 15 типов синтаксической связи между концептуальными частями речи. Значение глаголов приравнивается к одному из 11 элементарных действий или описывается с помощью концептуального глагола-связки «ДО» плюс изменение состояния объекта. Концептуальные глаголы имеют 10 времен, а существительные — 4 падежа. Запись значения предложения на языке КЗ представляет собой особый вид графа, вершинами которого являются концепты, а дугами — отношения между концептами.

В результате анализа текста получается формальная запись его значения, которое представляет собой сумму непосредственных значений предложений. В отличие от этого человек понимает сообщение на ЕЯ гораздо глубже, используя свое знание мира, память. Для преодоления этого недостатка был предложен ряд механизмов, которые дополняют и объединяют информацию, полученную непосредственно при анализе отдельных предложений, позволяющих понимать текст на сверхфразовом уровне [2, 3, 45]. Прежде всего это механизм ситуационного анализа, называемый скриптом. Скрипт применяется к записи КЗ, полученной при анализе текста. Он распознает некоторую стандартную последовательность действий (посещение ресторана, начало поездки на автомобиле и т. п.) и добавляет всю недостающую информацию из стандартного описания подобной ситуации, хранимого в памяти ЭВМ.

В тех случаях, когда описываемая последовательность событий не является стандартной, т. е. не подходит ни под один скрипт, может оказаться полезным механизм объединения событий с помощью причинной связи. Недостающее звено в такой цепи событий может быть дополнено исходя из свойств действующих лиц и объектов, участвующих в событиях. При отсутствии непосредственной причинной связи между событиями пониманию их последовательности может помочь установление целей участников данной ситуации [2, 3]. Например, испытываемое «чувство голода» предполагает наличие цели «принять пищу», «отсутствие денег» вызывает цель «добыть деньги», «усталость» — цель «отдых» и т. п. Достижение некоторой стандартной цели реализуется с помощью одного из возможных стандартных планов. План — это обычная последовательность событий, которая ведет к реализации цели. Каждый план предсказывает появление описания некоторых событий в тексте. Считается реализованным тот план (из нескольких возможных для данной цели), который нашел хотя бы частичное подтверждение в анализируемом тексте. В своей деятельности люди руководствуются, как правило, не одной целью, а несколькими. Эти цели могут взаимодействовать между собой, быть конфликтными, становиться преобладающими в зависимости от ситуации. Для учета подобной множественности целей вводится понятие темы — набора целей, которые встречаются обычно вместе вследствие свойств одного или нескольких действующих лиц рассказа [2].

Проиллюстрируем использование механизмов скриптов, целей и планов на примере анализа такого текста: «С. не видел отца и мать уже около года. При первой возможности он купил билет на самолет. Вещи были уложены заранее». Простая сумма значений предложений мало что дает для понимания текста, как его понимает человек. Эта сумма значений не позволяет ответить на такие вопросы: «Куда куплен билет на самолет?», «С кем предстоит встреча?», «Почему вещи были уложены?», «Кто купил билет на самолет?» и т. д. Более глубокому пониманию смысла этого текста (внеязыковой ситуации, передаваемой текстом) может способствовать понимание цели С. — «сильное желание увидеть родителей», вызванное долгой разлукой. Для достижения этой цели может быть использовано несколько планов: «поездка поездом», «поездка самолетом», «приглашение в гости» и т. п. План «поездка самолетом» получает подтверждение в анализируемом тексте. Этот план автоматически дополняет информацию о значениях отдельных предложений описанием адреса родителей, приготовлений к отъезду, приобретения билета в авиакассе (что может быть сделано ссылкой на специальный скрипт «посещение авиакассы») и т. д. Дополнительная информация, извлекаемая из памяти ЭВМ, и

позволяет ответить на вопросы относительно текста, подобные перечисленным выше.

Авторы языка КЗ и дополняющих его механизмов ситуационного «понимания» текстов отмечают, что предложенные ими средства не могут передать значение любого текста. Эти средства предназначены для анализа текстов, описывающих в основном деятельность человека. Этим, возможно, объясняется небольшое число значений концептуальных глаголов и различных видов синтаксических связей языка КЗ. В деятельности людей (животных) удобно выделять некоторые стандартные ситуации, устанавливать наличие целей и планов. Но эти средства неэффективны для представления значения текстов, описывающих пейзажи, окружающую среду, чувства и эмоции человека, события, не связанные с деятельностью человека, и т. д.

Одна из важнейших проблем в области АОЕЯ — формализация свойственных человеку способностей умозаключения, извлечения дополнительной информации, понимания подразумеваемого в процессе восприятия текста исходя из буквального значения предложений. Для выполнения подобных операций в процессе анализа исходного текста и формирования выходной информации, как правило, используется формальная модель соответствующей области внешнего мира. Чем больше свойств объектов и отношений между ними отражено в модели, тем больше информации дает такая модель для понимания текста. В различных системах АОЕЯ для получения дополнительной информации относительно анализируемого текста используются такие средства представления значений о внешнем мире: БД, семантические сети, фреймы, скрипты, цели, планы, темы и т. д. [2, 3, 33, 36, 43, 46].

Механизмы извлечения такой дополнительной информации различны. Они зависят от способов представления семантики анализируемого текста. Например, для систем, использующих фреймы, скрипты и связанные с ними механизмы, это просто считывание готовой информации, хранимой в памяти системы, при выполнении некоторого условия [2, 8]. Для системы АОЕЯ, в которых значение текста передается с помощью формул исчисления предикатов, получение дополнительной информации означает необходимость вывода новых тождественно истинных формул [21].

При обсуждении вопроса о получении системами АОЕЯ дополнительной информации относительно смысла текста было указано на двойную роль скриптов и фреймов. С одной стороны — это аппарат анализа и записи значения исходного текста, а с другой — средство представления знаний о внешнем мире в памяти системы. Такая двойственность объясняется тем, что схематически фрейм или скрипт можно представить как некоторый список вопросов, характеризующих некоторую ситуацию. Ответы на вопросы ищутся в тексте. В этом плане фрейм или

скрипт выступает как аппарат анализа текста и представления его значения. Вместе с тем в памяти системы имеются стандартные ответы на большинство из этих вопросов. Эти данные используются при формальном описании ситуации, когда на вопрос не находится ответа в тексте. С этой точки зрения фрейм или скрипт является средством представления знаний о внешнем мире.

Кратко охарактеризуем некоторые другие проблемы АОЕЯ, на решение которых сконцентрированы усилия исследователей. Часто препятствия для автоматизации обработки текстов возникают в связи с анафорой. Под анафорой понимается средство сокращения и связи текста с помощью введения местоимений, именных групп и имен собственных, значение которых было заранее задано или будет раскрыто в последующем тексте [47, 48]. Референтом анафорической ссылки может быть объект (один или несколько) или событие (одно или несколько). Для «понимания» значения анафорических ссылок в системах АОЕЯ используется несколько подходов: эвристические приемы (например, референт местоимения ищется в анализируемом или предыдущем предложении среди именных групп, возможность использования именной группы в качестве значения местоимения оценивается числом и т. д.) [35, 49]; синтаксические методы поиска референта местоимения по дереву синтаксической структуры предложения [50]; семантические методы, использующие, как правило, аппарат ситуационного анализа контекста — фреймы, скрипты и т. д. [2, 34, 47].

Следует отметить, что все эти разнообразные приемы не обеспечивают полное решение проблемы анафоры.

При автоматизации обработки текстов серьезные проблемы могут быть вызваны неоднозначностью анализа именных групп, в которых в роли определений выступают существительные (например, *surreg engine gas pipe*). Для правильного анализа таких словосочетаний используется проверка синтаксических связей между словами или семантических связей между концептами в предыдущем контексте или в постоянной памяти системы (например, в БД) [36, 51].

Эллиптические предложения являются источником особых трудностей при автоматической обработке текстов на ЕЯ. В системах АОЕЯ используется несколько методов анализа таких предложений. Суть одного из них: производится семантический анализ эллиптической фразы, поступившей в составе запроса в БД, затем отыскивается ближайшее предыдущее предложение, семантическая структура которого максимально совпадает со структурой эллиптической фразы. Недостающие компоненты для эллиптической фразы берутся из найденного таким образом предложения [29, 31].

Семантический анализ фраз ЕЯ, содержащих кванторные слова (все, некоторые, каждый, несколько и т. д.), вызывает

определенные трудности, привлекающие внимание исследователей. Изучается процесс анализа таких фраз с привлечением информантов [52]. Предложено несколько конкретных способов автоматического анализа подобных предложений, основанных, как правило, на использовании аппарата исчисления предикатов или теории множеств [6, 21, 53].

Для автоматизации общения на ЕЯ человека и ЭВМ большое значение имеет понимание общих правил построения диалогов между людьми, закономерности их протекания, изучение их различных аспектов: контроль диалога и формирование направляющих и уточняющих вопросов [54], понимание целей отдельных высказываний и целей диалогов [55] и т. д. По мере протекания диалога объекты и действия, которые находятся в центре внимания говорящих, меняются. Автоматическое определение такого центра внимания на каждом этапе диалога или повествования — важная задача, решение которой затрудняется наличием в текстах сравнений, обобщений на примерах, вводных предложений и даже некоторых «многозначительных» слов. Поясним изложенное на примере такого текста: «Сегодня я ходил в кино, в ресторан, а теперь начну заниматься, так как завтра у меня экзамен. Начало экзамена в 9 утра». Основное внимание в этом тексте уделяется занятиям и экзамену. О них, скорее всего, пойдет речь дальше. Но без учета центра внимания семантический анализатор может начать извлекать из памяти системы информацию о посещении кинотеатра со всеми имеющимися подробностями, затем — о посещении ресторана. Однако эти подробности не требуются для достаточно полного «понимания» изложенной ситуации. Это будет напрасной тратой времени и памяти ЭВМ. И то, и другое — критические факторы работы любой системы АОЕЯ. Проблема определения центра внимания в диалоге или повествовании — объект интенсивных исследований [7, 56].

В процессе общения между собой люди далеко не всегда строят идеальные в грамматическом отношении предложения, которые могут иметь морфологические, синтаксические и другие ошибки. Тем не менее такие предложения могут достаточно хорошо передавать мысль говорящего. Не возникает необходимости в уточняющих вопросах. Системы АОЕЯ, предназначенные для обработки только грамматически правильных предложений, рассчитаны на идеальные, нереальные условия работы. Возможность их практического использования невелика. Поэтому в настоящее время уделяется большое внимание разработке методов и систем АОЕЯ, которые позволяют правильно анализировать тексты, содержащие восстанавливаемые по контексту ошибки. Например, идея одного из таких методов состоит в сравнении семантики отрезков текста с иерархическими структурами контекстов. Несовпадение некоторого элемента текста с частью иерархической структуры позволяет предположить

наличие ошибки, выбрать наиболее совпадающую структуру и, используя ее, исправить ошибку в исходном тексте [57]. В лингвистическом интерфейсе PLANES к БД о полетах и профилактике самолетов при анализе исходного запроса слова объединяются в группы, характеризующие тип вопроса, тип самолета, период времени и т. п., прежде всего по семантическому признаку. При объединении слов в группы могут игнорироваться некоторые синтаксические погрешности текста [31].

Предыдущая часть обзора была посвящена проблемам анализа текстов на ЕЯ. Синтез текстов, исходя из некоторого представления их значения, также является очень важной задачей. Практически в каждой системе АОЕЯ предусматривается возможность синтеза текста для вывода промежуточной или результирующей информации [5, 8, 49]. Следует отметить, что «системы, которые не ставят своей задачей моделировать использование языка человеком для представления информации, могут применять довольно жесткие методы синтеза текста или даже «законсервированные» ответы» [28]. Примером системы с изощренным анализатором текстов ЕЯ и слабыми возможностями для их синтеза является лингвистический интерфейс LUNAR [18].

Вместе с тем блоки синтеза многих систем АОЕЯ позволяют формировать предложения довольно сложной синтаксической структуры, разнообразные по значению [28, 58, 59]. Например, программа перехода от значения, представленного на языке КЗ, позволяет синтезировать тексты независимо от их тематики, а также операций, выполняемых с исходным текстом: перефраз, реферирование, нахождение дополнительных данных и т. п. [28]. Программа синтеза текстов, разработанная в Массачусетском технологическом институте, формирует английские предложения в три этапа. На первом этапе семантическое представление сообщения разбивается на группы и для каждой группы генерируется набор ядерных предложений. На втором — исходя из тематических и синтаксических предпосылок выбирается набор трансформаций, которые следует выполнить с каждым набором предложений. На третьем этапе выполняются предписанные трансформации, объединяются измененные ядерные предложения каждого набора в отдельное предложение, вводятся местоимения, получается окончательная цепочка английских слов [57]. Проводятся исследования по улучшению стиля синтезированных текстов [60], а также некоторых других аспектов автоматического формирования текстов на ЕЯ.

Кратко опишем некоторые известные системы АОЕЯ: их назначение, выполняемые операции с текстом, используемые средства обработки текстов и т. п.

Автоматическое понимание связных текстов на ЕЯ является привлекательной задачей, имеющей практическое применение. В качестве примера рассмотрим две программы, разработанные

ные в Йельском университете. Программа SAM предназначена для реферирования газетных сообщений о некоторых типах сообщений: землетрясениях, транспортных происшествиях, наводнениях, встречах глав правительств и т. п. Обработка исходного текста производится поэтапно. Вначале текст переводится на язык КЗ. Затем запись на языке КЗ анализируется с помощью скрипта, схематически описывающего соответствующую ситуацию. Например, скрипт «транспортное происшествие» содержит такие переменные: вид транспорта, место происшествия, сколько человек убито, кто виновен. Каждый скрипт содержит от 40 до 100 и более шаблонов (вопросов), которые применяются к представлению на языке КЗ для определения значения соответствующих переменных в скрипте. Когда значения этих переменных определены и тем самым получена сокращенная запись содержания сообщения, выполняется синтез текста на английском, русском или испанском языках. Полученный текст демонстрирует «понимание» программой исходного текста. Данная программа может также отвечать на вопросы по тексту. В ней имеются средства для установления подразумеваемых связей между событиями описываемого эпизода, а также для получения стандартной для подобных эпизодов информации [2, 8].

Анализ исходного текста программой SAM основан на использовании механизма скрипта, т. е. схематического описания некоторой ситуации. Часто описываемый эпизод не относится к разряду стандартных, поэтому трудно предвидеть, о чем дальше может быть сказано в тексте. В этих случаях для понимания рассказа, логики его событий может быть использован механизм понимания целей и планов действующих лиц рассказа, как это делается в программе РАМ [2, 8]. Эта программа предназначена для «понимания» рассказов, состоящих из двух — девяти предложений. Рассказы классифицируются на 16 типов в зависимости от наличия одной или нескольких целей у действующих лиц и взаимного влияния целей на происходящие события. В начале обработки текста РАМ переводит его на язык КЗ, затем применяется механизм определения целей и соответствующих планов. В результате применения этих механизмов получается новое распространение, дополненное представление значения текста. Затем выполняется ответ на вопрос относительно содержания рассказа либо синтез перефразированного текста. РАМ может отвечать на вопросы о целях поступков, причинах событий и т. д., а также пересказывать текст от лица различных персонажей. РАМ — программа экспериментальная. Ее авторы не стремились к максимальной компактности и быстрдействию программы.

Построение эффективного лингвистического интерфейса БД является одной из важнейших задач в области АОЕЯ. Система ROBOT может рассматриваться в качестве примера такого

интерфейса [5, 61]. Этот интерфейс имеет возможности для работы с большим словарем терминов и других английских слов. При построении словаря используется инвертированный список названий элементов данных в БД. Такой список может строиться автоматически. Это облегчает применение данного интерфейса для других БД, а также своевременное пополнение словаря новыми терминами. В словарь включены также синонимы и обобщающие понятия по отношению к названиям элементов данных в БД, что позволяет получать ответы на запросы, описывающие данные не так, как это сделали разработчики БД. Для анализа запроса и снятия его возможной неоднозначности используется прежде всего словарь, в котором словам сопоставлена морфологическая, синтаксическая и семантическая информация. Затем выполняется синтаксический анализ запроса. В БД вводятся все варианты синтаксического анализа данного запроса. Те варианты анализа, для которых не нашлось соответствующих структур информации в БД, считаются ошибочными. Если в БД имеются ответы на несколько вариантов запроса, то эти варианты и соответствующие им ответы представляются заказчику для выбора. Опубликованы сообщения об использовании данного лингвистического интерфейса в 12 коммерческих БД [24].

Машинный перевод (МП) был первым видом АОЕЯ, который привлек внимание исследователей. Работы по МП ведутся с начала 50-х годов. Его основные проблемы: многозначность слов и предложений, использование контекста при переводе, эллипсис, метафора и т. д. — еще далеки от своего окончательного решения. В США было создано несколько действующих систем технического МП с различных языков на английский и наоборот. Вследствие невысокого качества переводов и сравнительно невысокого быстродействия эти системы не пользуются спросом у заказчиков. Но они являются потенциальным товаром на рынке программного обеспечения ЭВМ и иногда находят сбыт. Например, в еженедельнике деловых кругов «Computer World» помещено сообщение о том, что для ускорения перевода документации на продукцию иностранных заказчиков фирма «Solar Turbines Inc.» в Сан-Диего купила пакет программ МП — Weidner Communications, Inc's Translation System. Применение системы МП ускорило оформление документации на 70³%. Переводчики этой фирмы просматривают на экране дисплея переведенный текст, внося, где необходимо, стилистические и смысловые коррективы. Пакет программ работает на мини-ЭВМ [62].

К наиболее крупным центрам МП, располагающим действующими системами, относятся Джорджтаунский университет в Вашингтоне и национальная Лаборатория Комиссии по Атомной Энергии в Оук-Ридже, штат Теннесси [9]. Система МП Джорджтаунского университета используется в практически

неизменном виде с 1964 г. Важная часть системы — словари русских и английских слов. Например, для русского слова, представленного в виде основы, в словаре помещена такая информация: сведения о морфологии, различные значения слова и условия реализации этих значений, данные о переводном эквиваленте и т. п. Процесс анализа русского текста проходит в два этапа. На первом этапе выполняется сегментация предложений, обработка идиоматических выражений, исключение из анализа некоторых слов (формулы, специальные знаки, списки и т. д.), учет влияния исключенных слов на соседние, обработка неопознанных слов. На втором этапе производятся синтагматический и синтаксический анализы.

Процесс синтеза также состоит из двух стадий: 1) выбор и морфологическое оформление английских слов, соответствующих единицам русского текста; 2) взаимное расположение английских слов в предложении, введение артиклей и т. д. Система МП Джорджтаунского университета относится к типу эмпирических систем. Она работает автоматически, без участия пред-, интер- и постредакторов [9].

Указанные системы МП в Вашингтоне и Оук Ридже работают на ЭВМ устаревших типов и используются не на полную мощность в связи с нехваткой заказов. Стоимость МП по сравнению с ручным невелика. Основные затраты связаны с перфорацией исходного текста для ввода в ЭВМ. Некоторое время назад произведено обследование заказчиков, пользующихся системами МП. При обследовании ставилась цель выяснить: кто нуждается в МП, какого перевода ждет заказчик, чем неудовлетворены они в существующем положении дел и т. п. Эти данные учтены при дальнейшем совершенствовании систем МП [9].

В рамках одной статьи невозможно дать сколько-нибудь полный перечень систем АОЕЯ и охарактеризовать их. Отметим лишь, что большинство из них имеет экспериментальный характер. Но разработчики стараются, как правило, придать системе товарный вид, чтобы найти заказчиков и продолжить финансирование работ по совершенствованию данной системы. Программы АОЕЯ для практических целей используются сравнительно редко. Но несомненная потенциальная практическая ценность подобных исследований и масштабы работ в этой области свидетельствуют о том, что с разработкой систем АОЕЯ в значительной мере связывается будущее вычислительной техники во многих областях человеческой деятельности. Отношение большинства американских ученых к данной проблеме можно сформулировать следующим образом: чтобы практическое использование систем АОЕЯ стало реальностью в будущем, над этим нужно работать сейчас.

- Список литературы: 1. *Odell J.* Are Natural Language Interfaces Possible? IBM Systems Research Institute.— Technical Report TR 73—24. August 1981.—40 p.
2. *Schank R. C., Abelson R. P., Scripts, Plans, Goals and Understanding.*—Lawrence Erlbaum Associated Publishers, Hillsdale, 1977.—246 p.
3. *Wilensky R.* Understanding Goal—Based Stories. Garland Publishers, New York, 1980.—317 p.
4. *Hendrix G. G.* Developing a Natural Language Interface to Complex Data.— ACM Transactions on Data Base Systems, 1978, 3, p. 105—147.
5. *Harris L. R.* Use: Oriental Data Base Query with ROBOT Natural Language Query System.— International Journal of Man-Machine Studies. 1977. No 9, p. 697—713.
6. *Kradeloh K. D., Lockeman A. C.* Access to Data Base Systems via Natural Language.— Natural Language Communication with Computers. Springer Verlag, Berlin, 1978, p. 49—86.
7. *Lehnert W. G.* The Process of Question Answering.— Lawrence Erlbaum Associated Publishers, Hillsdale. 1978.—278 p.
8. *Schank R. C., Riesbeck Ch.* Inside Computer Understanding. Five Programs Plus Miniatures.— Lawrence Erlbaum Associated Publishers, Hillsdale. 1981.—386 p.
9. *Henisz B., MacDonald R., Zarechnak M.* Machine Translation.— Mouton Publishers, The Hague. 1979.—265 p.
10. *Translating and the Computer.* Proceedings of a Seminar. Ed. by B. M. Shell, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1979.—189 p.
11. *Brown G. P.* Some Problems in German to English Machine Translation.— Cambridge, MIT, Project MAC, 1974.—189 p.
12. *Selridge M.* A Process Model of Language Acquisition. Ph. D. dissertation, Yale University, 1980.—280 p.
13. *Jones M. A.* Natural Language Acquisition by Procedurally Extended Grammars. Ph. D. dissertation, University of Kansas, 1980.—120 p.
14. *Orgen P. J.* The Induction of the Syntax of Natural Language by Computer. Ph. D. dissertation. The University of Wisconsin-Madison. 1979.—120 p.
15. *Winograd T.* Beyond Programming Languages.— Communications of the ACM, 1979, 22, p. 391—401.
16. *Ballard B., Biermann A.* Programming in Natural Language.— Natural Language Conference Proceedings 1979, p. 288—297
17. *Reeker Z. H.* Natural Language Programming and Natural Programming Language.— Australian Computer Journal, 1980, 12, August, 1980, p. 89—92
18. *Woods W. A.* The Luna Science Language Information System: Final Report. Report 2378, Bolt Beranek and Newman Co., Cambridge, Mass., 1972.—198 p.
19. *Woods W. A.* Semantics for a Question— Answering Systems. Garland Publishers, New York 1979.—346 p.
20. *Sager N.* The String Parser for Scientific Literature.— Natural Language Processing. Ed. by R. Ruston. Algorithm Press, New York, 1973, p. 82—99.
21. *Berry-Rogge G. L., Wuls H.* An Overview of PLIDIS. A Problem Solving Information System with German as Query Language.— Natural Language Communication with Computers. Ed. by G. Goos and J. Hartmanis. Springer Verlag, Berlin. 1978, p. 87—132.
22. *Green B. F.* BASEBALL: An Automatic Question Answer.— Computer and Thought. Ed. by E. A. Feigenbaum, J. Feldman, McGraw Hill, New York, 1963, p. 35—61.
23. *Lindsay R. K.* Inferential Memory as the Basis of Machines which Understand Natural Language.— Computers and Thought Ed. by E. A. Feigenbaum, J. Feldman. McGraw Hill, New York, 1963, p. 85—107.
24. *Bates M.* The Theory and Practice of Augmented Transition Network Grammars.— Natural Language Communications with Computers. Ed. by G. Goos and J. Hartmanis. Springer — Verlag, Berlin, 1978, p. 191—260.
25. *Markus P. M.* A Theory of Syntactic Recognition for Natural Languages. Ph. D. Thesis, MIT, 1978.—198 p.
26. *Damerou F.* Advantages of a Transformational Grammar for a Question Answering.— Proceedings of the 5-th IJCAI-77. MIT, Cambridge, Mass. 1977.—192 p.
27. *Schank R. C.* An Integrated Understander.— Computational Linguistics, 1980, 6, No 1, p. 13—30.
28. *Schank R. C.* Conceptual Information Processing. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1975.—374 p.
29. *Brown J. S., Burton R. R.* A Paradigmatic Example of an Artificially Intelligent Instructional System.— International Journal of Man-Machine Studies. 1978. No 10, p. 323—339.
30. *Codd E. F.* RENDEZVOUS Version 1: An Experimental English—Language Query Formation System for Casual User. Report RJ 2144 (29407). San Jose, Calif.: IBM Research Laboratory, 1978.—173 p.
31. *Watts D. L.* The PLANES System: Natural Language Access to a Large Data Base. Technical Report T-34, Coordinated Science Laboratory, University of Illinois, Urbana, 1976.—189 p.

32. *Colby K. M., Parkinson M.* Pattern-Matching Rules for the Recognition of Natural Language Dialogue Expressions.— *American Journal of Computational Linguistics*, 1974, 1, No 1, p. 47—62.
33. *Minsky M.* A Framework for Representation Knowledge.— *The Psychology of Computer Vision*. Ed. by P. H. Winston, McGraw Hill, New York, 1975, p. 211—297.
34. *Charniak E.* On the Use of Framed Knowledge in Language Comprehension.— *Artificial Intelligence*, 1978, No 11, p. 225—265.
35. *Bobrow D.* Natural Language Input for a Computer Problem-Solving System.— *Semantic Information Processing*. Ed. by M. Minsky. MIT Press, Cambridge, Mass., 1968, p. 123—157.
36. *Harris L. R.* Using a Data Base as a Semantic Component to Aid in the Parsing of Natural Language Data Base Queries.— *Journal of Cybernetics*, 1980, 10, No 1—3, p. 77—96.
37. *Zadeh L.* PRUF — A Meaning Representation Language for Natural Languages.— *International Journal of Man — Machine Studies*, 1978, 10, p. 395—460.
38. *Associative Networks. Representation and Use of Knowledge by Computers.*— Ed. by N. Findler. Academic Press, New York, 1979.—462 p.
39. *Bobrow D., Winograd T.* An Overview of KRL, a Knowledge Representation Language.— *Cognitive Science*, 1977, 1, p. 3—46.
40. *Roberts R. B., Goldstein I. P.* The FRL Manual. Memo 409 MIT, Cambridge, Mass AI Laboratory, 1977.—98 p.
41. *Quillian M. R.* Word Concepts: A Theory and Simulation of some Basic Semantic Capabilities.— *Behavioral Science*, 1967, v. 2, No 5, p. 410—430.
42. *Simmons R. F., Bruse B. C.* Some relations between Predicate Calculus and Semantic Net Representation of Discourse.— *Proceedings of the 2-nd IJCAI-71*, London, 1971, p. 524—529.
43. *McSkimmin J., Minke J.* The Use of a Semantic Network in a Deductive Question — Answering Systems.— *Proceedings of the 5-th IJCAI*. MIT, Cambridge, Mass, 1977, p. 50—58.
44. *Hendrix G. G.* Partitioned Network for the Mathematical Modelling of Natural Language Semantics. Technical Report NL-28. Department of Computer Science, University of Texas at Austin, 1975.—52 p.
45. *Schank R. C.* Language and Memory.— *Cognitive Science*, 1979, v. 4, No 3, p. 243—284.
46. *Carbonell J.* The Counterplanning Process: Reasoning under Adversity.— *Proceedings of the 6-th International Conference on Artificial Intelligence*, Tokyo, 1979, v. 1, p. 124—130.
47. *Bullwinkle C.* Levels of Complexity in Discourse for Anaphora Disambiguation and Speech Act Interpretation.— *Proceedings of the 5-th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. MIT, 1977, p. 43—49.
48. *Hirst G.* Anaphora in Natural Language Understanding. A Survey. Springer-Verlag, Berlin, 1981.—128 p.
49. *Виноград Т.* Программа, понимающая естественный язык.— М.: Мир, 1976.—18 с.
50. *Hobbs J.* 38 Examples of Elusive Antecedents from Published Texts. Research Report 77- 2, City University of New York, August 1977, p. 57.
51. *Finin T. W.* The Semantic Interpretation of Noun-Noun Modification by Computer. Ph. D. dissertation, University of Illinois, May 1979.—193 p.
52. *Van Lehn K. A.* Determining the Scope of English Quantifiers, Technical Report AI — TR — 483. MIT, Cambridge, Mass., AI Laboratory, 1978.—126 p.
53. *Computational Semantics. An Introduction to Artificial Intelligence and Natural Language Comprehension.* Ed. by E. Charniak and Y. Wilks. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1976.—294 p.
54. *Bobrow D.* GUS, A Frame-Driven Dialog System.— *Artificial Intelligence*, 1977, No 8, p. 155—173.
55. *Levin J. A., Moore J. A.* Dialog — Games: Metacommunication Structures for Natural Language Interconnection.— *Cognitive Science*, 1977, No 1, p. 385—420.
56. *Gross B. J.* The Representation and Use of Focus in a System for Understanding Dialogs.— *Proceedings of the 5-th IJCAI—77*, MIT, Cambridge, Mass, 1977, p. 67—76.
57. *Fox M. S., Mostow D. J.* Maximal Consistent Interpretation of Errorful Data in Hierarchically Modelled Domains.— *Proceedings of Joint International Conference on Artificial Intelligence*, MIT, Cambridge, Mass, 1977, p. 165—171.
58. *Katz B.* A Three — Step Procedure for Language Generation. Technical Report AI Memo No 599, December 1980, MIT, AI Laboratory.—40 p.
59. *McDonald D.* Language Generation: The Linguistic Component.— *Proceedings of the 5-th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, MIT, Cambridge, Mass, 1977, p. 142—145.
60. *Juell P. L.* Improvements in the Style of Computer Generated Natural Language Text. Ph. D. dissertation, Ohio State University, 1981.—300 p.
61. *Harris L. R.* Experience with ROBOT in Commercial Natural Language Data Base Query Applications.— *Proceedings of the 6-th IJCAI—79*, Tokyo, 1979,

Поступила в редколлегию 18.10.83.

УДК 510.62

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

ОБ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВЕРТОЧНОГО СЕМЕЙСТВА ПРЕДИКАТОВ

В статье изучаются экспериментально проверяемые условия, при выполнении которых произвольная динамическая система, обследуемая методом нуля-органа [1], может быть математически описана интегралом свертки. Такие динамические системы широко распространены в природе и технике. Статья продолжает исследования, начатые в работе [2].

Введем линейное пространство $L_2(-\infty, \infty)$ на множестве всех измеримых функций $x(\tau)$, для каждой из которых

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x^2(\tau) d\tau < \infty.$$

Скалярное произведение двух элементов x, y этого пространства определим следующим образом:

$$(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x(\tau) y(\tau) d\tau.$$

Введенное пространство удовлетворяет всем аксиомам абстрактного гильбертова пространства, поэтому общий вид линейного функционала в нем такой [3]:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x(\tau) S(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где $S(\tau)$ — функция из $L_2(-\infty, \infty)$.

Семейство предикатов $\{\Phi_t\}_{t \in R}$, заданных на декартовом квадрате пространства $L_2(-\infty, \infty)$, назовем сверточным, если каждый предикат этого семейства может быть представлен в виде

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^t e^{\tau-t} x(\tau) u(t-\tau) d\tau, \int_{-\infty}^t e^{\tau-t} y(\tau) u(t-\tau) d\tau \right). \quad (2)$$

Здесь R — множество всех вещественных чисел, D — предикат равенства вещественных чисел, u — функция из $L_2(-\infty, \infty)$, удовлетворяющая условию

$$\int_0^{\infty} e^{-\tau} u^2(\tau) d\tau \neq 0. \quad (3)$$

Неравенство (3) означает, что функция u почти всюду на полуоси $[0, \infty)$ не равна тождественно нулю.

Сформулируем и докажем теорему об условиях существования сверточного семейства предикатов.

Теорема 1. *Для того чтобы семейство предикатов $\{\Phi_t\}_{t \in R}$ было сверточным, необходимо и достаточно, чтобы все предикаты этого семейства обладали свойством однородности, а предикат Φ_0 — свойствами необратимости, аддитивности, одномерности и непрерывности.*

Предикат Φ_t назовем однородным, если при любых $x, y \in L_2(-\infty, \infty)$ $\Phi_0(x, y) = \Phi_t(x_t, y_t)$ (4), где $x_t(\tau) = x(\tau - t)$. Предикат Φ_0 назовем необратимым, если из равенства $x(\tau) = y(\tau)$, выполняющегося почти всюду при $\tau < 0$, вытекает $\Phi_0(x, y) = 1$ (5); аддитивным, если при любых $x_1, y_1, x_2, y_2 \in L_2(-\infty, \infty)$ и условия $\Phi_0(x_1, y_1) = \Phi_0(x_2, y_2) = 1$ вытекает равенство $\Phi_0(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1$; одномерным, если существует функция $a(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$, такая, что для любого x найдется единственное вещественное число $\alpha(x)$, удовлетворяющее условию $\Phi_0(x, \alpha(x)a) = 1$ (6); непрерывным, если функционал $\alpha(x)$ непрерывен в метрике пространства $L_2(-\infty, \infty)$.

Доказательство. Необходимость. Пусть число t произвольным образом зафиксировано, а предикат Φ_t определяется зависимостью (2). Докажем однородность предиката Φ_t . Из условия (5) вытекает равенство

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) u(-\tau) d\tau = \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y(\tau) u(-\tau) d\tau.$$

Подставляя в нем $\tau - t$ вместо τ , получим равенство

$$\int_{-\infty}^t e^{\tau-t} x(\tau - t) u(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^t e^{\tau-t} y(\tau - t) u(t - \tau) d\tau,$$

т. е. $\Phi_t(x_t, y_t) = 1$. Точно так же из условия $\Phi_0(x, y) = 0$ выводим $\Phi_t(x_t, y_t) = 0$. Отсюда непосредственно следует уравнение (4).

Необратимость и аддитивность предиката Φ_0 очевидны. Докажем одномерность предиката $\Phi_0(x, y)$. Положим $a(\tau) = u(-\tau)$. Условие (6) равносильно уравнению

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) u(-\tau) d\tau = \alpha(x) \int_{-\infty}^0 e^{\tau} u^2(-\tau) d\tau,$$

которое при любом x ввиду (3) имеет единственное решение:

$$\alpha(x) = \frac{\int_0^{\infty} e^{\tau x}(\tau) u(-\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} e^{-\tau} u^2(\tau) d\tau}. \quad (7)$$

Непрерывность предиката Φ_0 непосредственно следует из непрерывности функционала (7).

Достаточность. Предположим, что предикат Φ_t при любом $t \in R$ однороден, а предикат Φ_0 непрерывен, аддитивен, одномерен и необратим. Выведем отсюда сверточность семейства предикатов $\{\Phi_t\}_{t \in R}$. С этой целью найдем общий вид функционала $\alpha(x)$. Согласно свойству одномерности для любых x и y имеем $\Phi_0(x, \alpha(x)\alpha) = 1$ (8); $\Phi_0(y, \alpha(y)\alpha) = 1$ (9); $\Phi_0(x+y, \alpha(x+y)\alpha) = 1$ (10). С другой стороны, по свойству аддитивности из (8) и (9) получаем $\Phi_0(x+y, \alpha(x)\alpha + \alpha(y)\alpha) = 1$ (11). Сравнивая (10) и (11), из единственности коэффициента при $\alpha(\tau)$ (свойства одномерности) выводим аддитивность функционала α : $\alpha(x+y) = \alpha(x) + \alpha(y)$.

Так как функционал $\alpha(x)$ к тому же непрерывен (свойство непрерывности), то он линеен. Согласно (1) его общий вид следующий:

$$\alpha(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x(\tau) S(\tau) d\tau. \quad (12)$$

Из свойства необратимости непосредственно следует, что предикат $\Phi_0(x, y)$ рефлексивен. Докажем теперь, что $\Phi_0(x, y) = D(\alpha(x), \alpha(y))$. Из равенства $\Phi_0(x, y) = 1$, аддитивности и рефлексивности вытекает $\Phi_0(x-y, 0) = 1$. Учитывая одномерность предиката Φ_0 , получаем $\alpha(x-y) = 0$, т. е. $\alpha(x) = \alpha(y)$ (13). Повторяя рассуждения в обратном порядке, из (13) выводим $\Phi_0(x, y) = 1$. Таким образом, $\Phi_0(x, y) = D(\alpha(x), \alpha(y))$ (14). Заметим, что из (14) вытекает симметричность и транзитивность предиката Φ_0 .

Рассмотрим функцию $x^*(\tau)$, определяемую условием

$$x^*(\tau) = \begin{cases} x(\tau), & \text{если } \tau < 0, \\ 0, & \text{если } \tau \geq 0. \end{cases} \quad (15)$$

Согласно свойству необратимости из (15) следует $\Phi_0(x^*, x) = 1$ (16). Из (16) и (14) выводим $\alpha(x) = \alpha(x^*)$. Отсюда по (12) вытекает равенство

$$\alpha(x) = \int_{-\infty}^0 e^{\tau x}(\tau) S(\tau) d\tau.$$

Положим $S(\tau) = u(-\tau)$, тогда

$$\Phi_0(x, y) = D\left(\int_{-\infty}^0 e^{\tau x}(\tau) u(-\tau) d\tau, \int_{-\infty}^0 e^{\tau y}(\tau) u(-\tau) d\tau\right).$$

Учитывая свойство однородности, получаем

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau + t) u(-\tau) d\tau, \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y(\tau + t) u(-\tau) d\tau \right).$$

Производим замену τ на $\tau - t$:

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^t e^{\tau-t} x(\tau) u(t-\tau) d\tau, \int_{-\infty}^t e^{\tau-t} y(\tau) u(t-\tau) d\tau \right).$$

Теорема доказана.

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

Теорема 2. *Условия однородности, одномерности, необратимости, аддитивности и непрерывности независимы.*

Доказательство. Для того чтобы доказать эту теорему, достаточно привести для каждого из условий теоремы 1 примеры семейств предикатов, которые удовлетворяют всем условиям теоремы, кроме одного.

1. Однородность. Принимаем

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^t e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau, \int_{-\infty}^t e^{\tau} y(\tau) \tau d\tau \right). \quad (17)$$

Пусть, кроме того, $x(\tau) = \tau + 3$, $y(\tau) = 1$. Нетрудно вычислить, что в этом случае

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau = \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y(\tau) \tau d\tau,$$

г.е. $\Phi_0(x, y) = 1$.

Тем не менее, как показывают вычисления, при $t \neq 0$

$$\int_{-\infty}^t e^{\tau} x_t(\tau) \tau d\tau \neq \int_{-\infty}^t e^{\tau} y_t(\tau) \tau d\tau.$$

Таким образом, $\Phi_0(x, y) \neq \Phi_t(x_t, y_t)$ и свойство однородности не выполняется. Однако все остальные свойства имеют место. Действительно, предположим, что для каких-либо $x, x', y, y' \in L_2(-\infty, \infty)$ выполняются равенства $\Phi_0(x, x') = \Phi_0(y, y') = 1$. Тогда из (17) следует

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau &= \int_{-\infty}^0 e^{\tau} x'(\tau) \tau d\tau, \\ \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y(\tau) \tau d\tau &= \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y'(\tau) \tau d\tau. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} [x(\tau) + y(\tau)] \tau d\tau = \int_{-\infty}^0 e^{\tau} [x'(\tau) + y'(\tau)] \tau d\tau$$

или $\Phi_0(x + y, x' + y') = 1$. Значит, предикат $\Phi_0(x, y)$ аддитивен.

Докажем его одномерность. Положим $a(\tau) = \tau$. В этом случае число $a(x)$ для любого $x \in L_2(-\infty, \infty)$ единственным образом находится из уравнения

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau = a(x) \int_{-\infty}^0 e^{\tau} \tau^2 d\tau,$$

а именно

$$a(x) = \frac{\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau}{\int_{-\infty}^0 e^{\tau} \tau^2 d\tau}. \quad (18)$$

Таким образом, доказана одномерность, а из (18) следует непрерывность $a(x)$ в метрике $L_2(-\infty, -\infty)$.

Осталось доказать свойство необратимости. Оно выполняется, поскольку для функций $x(\tau)$ и $y(\tau)$, совпадающих почти всюду при $\tau < 0$, имеем

$$\int_{-\infty}^0 e^{\tau} x(\tau) \tau d\tau = \int_{-\infty}^0 e^{\tau} y(\tau) \tau d\tau,$$

т. е. $\Phi_0(x, y) = 1$.

2. Аддитивность. Из неравенства Гельдера [3] следует, что для любой функции $x(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$ выполняется

$$\begin{aligned} \left| \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x^{5/3}(\tau) d\tau \right| &< \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} |x(\tau)|^{5/3} d\tau < \\ &< \left[\int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} \{|x(\tau)|^{5/3}\}^{6/5} d\tau \right]^{5/6} \cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} 1^6 d\tau \right]^{1/6}. \end{aligned} \quad (19)$$

Из (19) вытекает

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x^{5/3}(\tau) d\tau \right| < 2^{1/6} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} e^{-|\tau|} x^2(\tau) d\tau \right\}^{5/6} < \infty. \quad (20)$$

Неравенство (20) означает, что для любого $x(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$ существует функция

$$a_t(x) = \int_{-\infty}^t e^{\tau-t} x^{5/3}(\tau) d\tau. \quad (21)$$

Допустим, $\{\Phi_t\}_{t \in R}$ задано следующим образом: $\Phi_t(x, y) = D(a_t(x), a_t(y))$.

Из (21) следует, что определение корректно. Данное семейство будет однородным, в чем легко убедиться, подставив в (21) τ на место $\tau - t$.

Предикат $\Phi_0(x, y)$ будет необратимым вследствие того, что интегрирование происходит на интеграле $(-\infty, 0]$. Его одномерность вытекает, если положить $a(\tau) = 1$. В этом случае $a(x) =$

$= \alpha_0(x)$. Из последнего равенства следует непрерывность. Однако аддитивностью $\Phi_0(x, y)$ не обладает, так как из (21) видно, что $\alpha_0(x)$ не аддитивный функционал.

3. Одномерность. Положим $\Phi_t(x, y) \equiv 1$. Тогда это семейство предикатов не будет обладать свойством одномерности, так как при любом $a(\tau), x(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$ существует бесконечно много чисел $\alpha(x)$ (α именно, любое действительное число), для которых $\Phi_0(x, \alpha(x)a) = 1$.

С другой стороны, все остальные свойства выполняются. Это легко проверить. Свойство же непрерывности определено только для одномерных предикатов и требовать его выполнения не имеет смысла.

4. Необратимость. Возьмем семейство предикатов

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau-t^2} x(\tau) (t-\tau) d\tau, \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau-t^2} y(\tau) (t-\tau) d\tau \right) \quad (22)$$

и две функции, удовлетворяющие условиям $x(\tau) = y(\tau)$ при $\tau < 0$; $x(\tau) = 1, y(\tau) = 2$ при $\tau \geq 0$. Тогда

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau-t^2} x(\tau) (t-\tau) d\tau \neq \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau-t^2} y(\tau) (t-\tau) d\tau$$

или $\Phi_0(x, y) = 0$ (23).

Из (23) явствует, что предикат Φ_0 не обладает свойством необратимости. С другой стороны, из $a(\tau) = -\tau$ и

$$\alpha(x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau} x(\tau) (-\tau) d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t\tau} \tau^2 d\tau} \quad (24)$$

следует одномерность и непрерывность предиката Φ_0 . Из (24) видим, что $\alpha(x)$ аддитивен, поэтому предикат $\Phi_0(x, y)$ также аддитивен. Однородность доказывается заменой $\tau - t$ на τ в выражении (22).

5. Непрерывность. Зададим в $L_2(-\infty, \infty)$ функционал $\alpha^*(x)$ следующим образом. Каждая функция $x(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$ является суммой:

$$x' \tau = \begin{cases} x(\tau) & \text{при } \tau < 0 \\ 0 & \text{при } \tau \geq 0 \end{cases} \quad x''(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau < 0 \\ x(\tau) & \text{при } \tau \geq 0 \end{cases}$$

Причем $x'(\tau) \perp x''(\tau)$. Таким образом, $L_2(-\infty, \infty) = M \oplus N$, где M — подпространство функций, почти всюду равных 0 при $\tau < 0$, а N — подпространство функций, почти всюду равных 0 при $\tau \geq 0$. Теперь допустим, что $f(x)$ — однородный, аддитивный и разрывный функционал на N [3]. Положим $\alpha^*(x) = f(x')$, где $x = x' + x'', x' \in N, x'' \in M$. Тогда $\alpha^*(x)$ будет однородным, адди-

тивным и разрывным функционалом, заданным в $L_2(-\infty, \infty)$ и обладающим тем свойством, что для любых двух функций $x(\tau)$ и $y(\tau)$, равных почти всюду при $\tau < 0$, имеем $\alpha^*(x) = \alpha^*(y)$. Положим $\Phi_0(x, y) = D(\alpha^*(x), \alpha^*(y))$ (25).

Из аддитивности и только что указанного свойства $\alpha^*(x)$ следует, что предикат $\Phi_0(x, y)$ аддитивен и необратим. Докажем его одномерность. Заметим, что по построению $\alpha^*(x) \neq 0$, поэтому существует $a(\tau) \in L_2(-\infty, \infty)$, для которой $\alpha^*(a) = 1$. Единственное вещественное число $\alpha(x)$, удовлетворяющее условию $\Phi_0(x, \alpha(x)a) = 1$, находится единственным образом из уравнения $\alpha^*(x) = \alpha^*(\alpha(x)a)$ и $\alpha(x) = \alpha^*(x)$. Одномерность доказана. Непрерывность же для предиката $\Phi_0(x, y)$ не выполняется из-за разрывности $\alpha^*(x)$ и $\alpha(x)$ соответственно. Теперь положим для любого t $\Phi_t(x, y) = \Phi_0(x^*, y^*)$ (26), где $x^*(\tau) = x(\tau + t)$, а $y^*(\tau) = y(\tau + t)$. Для семейства предикатов $\{\Phi_t\}_{t \in R}$, заданного формулой (26), как нетрудно видеть, выполняется свойство однородности. Теорема 2 доказана.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Применение метода нуля органа в психофизике. — Пробл. бионики, 1978, вып. 21, 22, с. 1 — 15, 50 — 60. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П., Рвачев В. Л., Мурашко А. Г. Математичні моделі зору. — К.: Техніка, 1966. — 95 с. 3. Ахизер Н. И., Глазман И. М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве. — М.: Наука, 1966. — 543 с.

Поступила в редколлегию 14. 06. 82.

УДК 510.62

З. Ю. МАЛЕНЧЕНКО, Г. А. ПРАСОЛ

О МОДЕЛИРОВАНИИ ФОНЕТИЧЕСКОГО ОТНОШЕНИЯ

В работе [1] введено понятие фонетического отношения как связи между фонемой и фонетическими признаками звука. В настоящей статье математически описываются фонетические признаки звука, а также связь между признаками и фонемой. Получен вид функций для определения значений фонемы в зависимости от значений признаков. При моделировании фонетического отношения используется аппарат алгебры конечных предикатов [2]. Моделирование ведется для режима речи голосом, речь шепотом не рассматривается.

Введем признак гласности звука y_1 со значениями г — гласный, с — согласный. Вводим индивидуальные предикаты:

$$\text{Глс}(x) = x^a \vee x^e \vee x^{\bar{e}} \vee x^n \vee x^o \vee x^y \vee x^w \vee x^s \vee x^{\bar{o}} \vee x^{\bar{y}}$$

$$\text{Сгл}(x) = x^b \vee x^v \vee x^r \vee x^d \vee x^{\bar{z}} \vee x^{\bar{s}} \vee x^{\bar{n}} \vee x^{\bar{l}} \vee x^{\bar{m}} \vee x^{\bar{h}} \vee x^{\bar{p}} \vee x^{\bar{q}} \vee x^{\bar{t}} \vee x^{\bar{f}} \vee x^{\bar{x}} \vee x^{\bar{c}} \vee x^{\bar{g}} \vee x^{\bar{ш}}$$

соответствующие понятиям гласной и согласной фонемы. Предикат $\text{Фон}(x) = \text{Глс}(x) \vee \text{Сгл}(x)$ соответствует понятию фонемы. Имеет место соотношение $y_1^{\bar{r}} \text{Глс}(x) \vee y_1^{\bar{s}} \text{Сгл}(x) = 1$.

Далее, вводим *признак шумности звука* y_2 со значениями ш — шумный, н — нешумный. Индивидуальные предикаты

$$\text{Сон} (x) = x^{\text{а}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{м}} \vee x^{\text{н}} \vee x^{\text{р}},$$

$$\text{Шум} (x) = x^{\text{б}} \vee x^{\text{в}} \vee x^{\text{р}} \vee x^{\text{д}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{к}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ф}} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}} \vee x^{\text{ш}}$$

формализуют понятия *сонорной* и *шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение

$$y_1^0 \supset y_2^{\text{н}} \text{Сон} (x) \vee y_2^{\text{ш}} \text{Шум} (x) = 1.$$

Введем теперь *признак вокализации звука* y_3 со значениями з — звонкий, г — глухой. Индивидуальные предикаты

$$\text{Звн} (x) = x^{\text{б}} \vee x^{\text{в}} \vee x^{\text{г}} \vee x^{\text{д}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}},$$

$$\text{Глх} (x) = x^{\text{к}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{с}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ф}} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}} \vee x^{\text{ш}}$$

соответствуют понятиям *звонкой* и *глухой шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение

$$y_1^{\text{с}} y_2^{\text{ш}} \supset y_3^{\text{з}} \text{Звн} (x) \vee y_3^{\text{г}} \text{Глх} (x) = 1.$$

Наконец, вводим *признак смычности звука* y_4 со значениями с — смычный, щ — щелевой. Индивидуальные предикаты

$$\text{Смч} (x) = x^{\text{б}} \vee x^{\text{г}} \vee x^{\text{д}} \vee x^{\text{к}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}}$$

$$\text{Щел} (x) = x^{\text{в}} \vee x^{\text{р}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}} \vee x^{\text{ф}} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{ш}}$$

формализуют понятия *смычной* и *щелевой шумной согласной фонемы*. Имеет место соотношение $y_1^{\text{с}} y_2^{\text{ш}} \supset y_4^{\text{с}} \text{Смч} (x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щел} (x) = 1$.

Учитывая все введенные выше зависимости, можем записать уравнение, связывающее воедино фонему x с признаками $y_1 \div y_4$:

$$y_1^{\text{г}} \text{Глс} (x) \vee y_1^{\text{с}} (y_1^{\text{н}} \text{Сон} (x) \vee y_2^{\text{ш}} (y_3^{\text{з}} (y_4^{\text{с}} \text{Смз} (x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щлз} (x)) \vee y_3^{\text{г}} (y_4^{\text{с}} \text{Смч} (x) \vee y_4^{\text{щ}} \text{Щлг} (x)))) = 1. \quad (1)$$

Индивидуальные предикаты

$$\text{Смз} (x) = x^{\text{б}} \vee x^{\text{г}} \vee x^{\text{д}} \vee x^{\text{к}} \vee x^{\text{ч}},$$

$$\text{Щлз} (x) = x^{\text{в}} \vee x^{\text{р}} \vee x^{\text{ж}} \vee x^{\text{з}}$$

соответствуют понятиям *смычной* и *щелевой звонкой шумной согласной фонемы*, а предикаты

$$\text{Смч} (x) = x^{\text{к}} \vee x^{\text{п}} \vee x^{\text{т}} \vee x^{\text{ц}} \vee x^{\text{ч}},$$

$$\text{Щлг} (x) = x^{\text{с}} \vee x^{\text{ф}} \vee x^{\text{х}} \vee x^{\text{ш}} —$$

понятиям *смычной* и *щелевой глухой шумной согласной фонемы*.

Таким образом, признаки $y_1 \div y_4$ делят все множество фонем на шесть классов: 1) гласные {а, е, ё, и, о, у, ы, э, ю, я}; 2) сонорные {й, м, л, н, р}; 3) смычные звонкие {б, г, д, ц, ч}; 4) щелевые звонкие {в, ж, з}; 5) смычные глухие {к, п, т,

ц, ч); б) щелевые глухие {с, ф, х, ш}. Фонема г, кроме смычного, имеет еще и щелевое звучание (бога). Фонемы ц и ч, кроме глухого, имеют также звонкое звучание (Гинц — бург, ключ забыл). Введем номер класса фонем z со значениями $1 \div 6$ и функцию классов фонем $z = f(y_1, y_2, y_3, y_4)$. Согласно зависимости (1) эту функцию можно записать следующей системой равенств:

$$\begin{aligned} z^1 &= y_1^r, & z^2 &= y_1^c y_2^h, & z^3 &= y_1^c y_2^m y_3^c y_4^c, & z^4 &= y_1^c y_2^m y_3^c y_4^m, \\ z^5 &= y_1^c y_2^m y_3^r y_4^c, & z^6 &= y_1^c y_2^m y_3^r y_4^m. \end{aligned} \quad (2)$$

Расклассифицировать фонемы по этим классам не составляет большого труда, поскольку значения признаков $y_1 \div y_4$ сравнительно легко извлекаются из осциллограммы звука. Разделить же фонемы внутри классов с помощью автоматически действующей аппаратуры гораздо труднее. Деление фонем в каждом из шести классов представляет собой самостоятельную задачу для исследования. Ниже математически описываются признаки, наиболее часто используемые фонетикой для деления фонем внутри выделенных нами классов, и связи между фонемами и этими признаками. Следует ожидать, что не во всех случаях удастся уверенно извлекать из осциллограмм звуков значения описываемых ниже признаков. Поэтому на приводимые ниже математические модели следует смотреть только как на необходимые, но не достаточные для деления фонем внутри перечисленных классов.

Займемся теперь разделением гласных фонем, для чего введем признаки y_5, y_6, y_7 . Переменную y_5 назовем *признаком веляризации звука* со значениями м — малая, с — средняя, б — большая. Гласные с малой веляризацией задаем индивидуальным предикатом $Mвл(x) = x^a \vee x^e \vee x^o \vee x^y$, гласные со средней веляризацией — предикатом $Свл(x) = x^e \vee x^y$, гласные с большой веляризацией — предикатом $Бвл(x) = x^h \vee x^y \vee x^m \vee x^o$. Имеем

$$z^1 \supset y_5^m Mвл(x) \vee y_5^c Cвл(x) \vee y_5^b Bвл(x) = 1.$$

Переменную y_6 назовем *признаком лабиализации звука* со значениями м — малая, с — средняя, б — большая. Гласные с малой лабиализацией задаем индивидуальным предикатом

$$Mлб(x) = x^a \vee x^e \vee x^h \vee x^m \vee x^y \vee x^o,$$

гласные со средней лабиализацией — предикатом $Слб(x) = x^e \vee x^o$, гласные с большой лабиализацией — предикатом $Блб(x) = x^y \vee x^o$. Имеем

$$z^1 \supset y_6^m Mлб(x) \vee y_6^c Cлб(x) \vee y_6^b Bлб(x) = 1.$$

Переменную y_7 назовем *признаком палатализации звука* со значениями т — твердая, м — мягкая. Твердые гласные задаем индивидуальным предикатом $Tгл(x) = x^a \vee x^o \vee x^y \vee x^m \vee x^y$, мяг-

сие гласные — предикатом $M_{гл}(x) = x^e \vee x^{\bar{e}} \vee x^u \vee x^o \vee x^a$. Имеем $z^1 \supset y_7^T T_{гл}(x) \vee y_7^M M_{гл}(x)$.

Учитывая все введенные выше зависимости, можем записать уравнение, связывающее воедино фонему x с признаками $y_5 \div y_7$:

$$z^1 \supset y_5^M (y_6^M (y_7^1 x^a \vee y_7^M x^{\bar{a}} \vee y_6^{\bar{b}} (y_7^T x^u \vee y_7^M x^u)) \vee y_5^{\bar{c}} (y_7^T x^o \vee y_7^M x^{\bar{o}}) \vee y_5^{\bar{d}} (y_7^T x^y \vee y_7^M x^{\bar{y}}) \vee y_6^{\bar{e}} (y_7^T x^{\bar{a}} \vee y_7^M x^{\bar{c}}) = 1. \quad (3)$$

Зависимость (3) разделяет множество гласных на отдельные фонемы, это дает нам право при $z = 1$ ввести функцию $x = g_1(y_5, y_6, y_7)$, записываемую в виде следующей системы равенств: $x^a = y_5^M y_6^M y_7^T$, $x^{\bar{a}} = y_5^{\bar{c}} y_6^M$, $x^e = y_5^{\bar{c}} y_7^M$, $x^u = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^M$, $x^o = y_5^{\bar{c}} y_7^T$, $x^y = y_5^{\bar{d}} y_7^T$, $x^{\bar{a}} = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^T$, $x^{\bar{c}} = y_6^{\bar{e}} y_7^T$, $x^{\bar{o}} = y_5^{\bar{d}} y_7^M$, $x^{\bar{c}} = y_5^M y_6^{\bar{b}} y_7^M$ (4).

Функцию g_1 назовем функцией гласных фонем, эта функция представлена табл. 1. На рис. 1 представлено трехмерное про-

Таблица 1

	y_5			
		м	а	б
y_6	б	—	—	у
	а	о	—	—
	м	а	э	ы
		$y_7 = T$		

	y_5			
		м	с	б
y_6	б	—	—	ю
	с	ё	—	—
	м	я	е	и
		$y_7 = M$		

странство признаков, в нем точками изображены гласные фонемы. Геометрическое расстояние между точками приблизительно характеризует удаленность фонем друг от друга при восприятии на слух. Различные фонемы, принимаемые ухом на одной и той же позиции текста, обычно отстоят друг от друга не более, чем на единицу расстояния [1].

Перейдем к разделению сонорных согласных. Для этого нам понадобятся признаки y_8, y_9, y_{10} . Переменную y_8 назовем *признаком назализации* звука со значениями р — ртовый, н — носовой. *Ртовые сонорные согласные* задаем индивидуальным предикатом $P_{сн}(x) = x^{\bar{a}} \vee x^{\bar{c}} \vee x^{\bar{m}}$, *носовые сонорные согласные* — предикатом $N_{сн}(x) = x^{\bar{m}} \vee x^{\bar{n}}$. Имеем $z^2 \supset y_8^{\bar{p}} P_{сн}(x) \vee y_8^{\bar{n}} N_{сн}(x) = 1$.

Переменную y_9 назовем *признаком вибрантности* звука со значениями с — спокойный, д — дрожащий. *Спокойные сонорные согласные* задаем предикатом $S_{сн}(x) = x^{\bar{a}} \vee x^{\bar{c}} \vee x^{\bar{m}} \vee x^{\bar{n}}$, к *дрожащим сонорным согласным* относим фонему р. Связь между фонемой x и признаком y_9 задаем уравнением

$$z^2 \supset y_9^{\bar{c}} S_{сн}(x) \vee y_9^{\bar{d}} x^{\bar{p}}.$$

Первый признак y_8 назовем *признаком места артикуляции* звука со значениями г — губной, п — переднеязычный, с — среднеязычный, з — заднеязычный. Последнее значение признака y_{10} при разделении сонорных фонем не используется, однако оно понадобится нам для разделения шумных фонем. К *губным сонорным фонем* относим м, *переднеязычным сонорным фонем* задаем предикатом $\text{Псн}(x) = x^r \vee x^h \vee x^p$, к *среднеязычным фонем* й. Таким образом,

$$z^2 \supset y_{10}^r x^m \vee y_{10}^h \text{Псн}(x) \vee y_{10}^c x^a = 1.$$

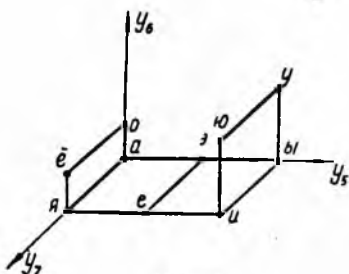


Рис. 1

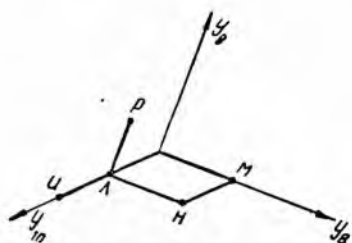


Рис. 2

Учитывая введенные зависимости, приходим к уравнению связывающему фонему x с признаками $y_8 \div y_{10}$

$$z^2 \supset y_{10}^c x^a \vee y_8^p y_{10}^h x^r \vee y_8^h (y_{10}^r x^m \vee y_{10}^h x^h) \vee y_9^d x^p = 1. \quad (5)$$

Зависимость (5) разделяет множество сонорных фонем на отдельные фонемы. Полагая $z = 2$, приходим к функции $x = g_2(y_8, y_9, y_{10})$, записываемой следующей системой равенств:

$$x^a = y_{10}^c, \quad x^r = y_8^p y_{10}^h, \quad x^m = y_8^h y_{10}^r, \quad x^h = y_8^h y_{10}^h, \quad x^p = y_9^d. \quad (6)$$

Функцию g_2 назовем *функцией сонорных фонем*, она представлена табл. 2. На рис. 2 изображено трехмерное пространство призна-

Таблица 2

y_8		д	с
р	—	—	
н	—	м	

 $y_{10} = \text{г}$

y_8		д	с
р	р	л	
н	—	н	

 $y_{10} = \text{п}$

y_8		д	с
р	—	й	
н	—	—	

 $y_{11} = \text{с}$

ков, в котором точками указаны сонорные фонемы. Геометрическое расстояние между точками приблизительно характеризует удаленность фонем друг от друга при восприятии на слух.

Для разделения шумных согласных используем введенный ранее признак y_{10} . *Губные шумные фонемы* задаем индивидуальным предикатом $\text{Гшф}(x) = x^b \vee x^v \vee x^c \vee x^f$, *переднеязычные шум*

ные фонемы — предикатом $\text{Пшф}(x) = x^d \vee x^j \vee x^z \vee x^c \vee x^t \vee x^u \vee x^v \vee x^w$, заднеязычные фонемы — предикатом $\text{Зяф}(x) = x^g \vee x^k \vee x^x$.

Таким образом, $y_2^w \supset y_{10}^r \text{Пшф}(x) \vee y_{10}^g \text{Пшф}(x) \vee y_{10}^z \text{Зяф}(x) = 1$.

Множество переднеязычных шумных фонем {д, ж, з, с, т, ц, ч, ш} разделим на два класса с помощью переменной y_{11} со значениями з — зубные, н — небные, называемой признаком локализации звука. Зубные переднеязычные шумные фонемы задаем индивидуальным предикатом $\text{Зпш}(x) = x^d \vee x^z \vee x^c \vee x^t \vee x^u$, небные переднеязычные шумные фонемы — предикатом $\text{Нпш}(x) = x^j \vee x^k \vee x^x \vee x^v \vee x^w$. В принятой нами классификации фонемы д и т допускают два варианта произношения — «зубное» и «небное». Имеем

Таблица 3

		y_{10}			y_{11}	
		г	з	п		
g_3		б	г	ц	д	з
				ч	д	н
		y_{12}				
			а	н		

$$y_2^w y_{10}^g \supset y_{11}^z \text{Зпш}(x) \vee y_{11}^n \text{Нпш}(x) = 1.$$

То же множество переднеязычных шумных фонем разделим другим способом с помощью признака аффрикации звука y_{12} со значениями а — аффриката, н — неаффриката. Аффрикаты задаем индивидуальным предикатом $\text{Афф}(x) = x^u \vee x^v$, переднеязычные шумные неаффрикаты — предикатом $\text{Пнш}(x) = x^d \vee x^j \vee x^z \vee x^c \vee x^t \vee x^w$. Таким образом,

$$y_2^w y_{10}^g \supset y_{12}^a \text{Афф}(x) \vee y_{12}^n \text{Пнш}(x) = 1.$$

Введенных признаков достаточно для разделения на отдельные фонемы оставшихся четырех классов фонем. Это разделение регулируется следующими уравнениями:

$$z^3 \supset y_{10}^r x^b \vee y_{10}^z x^r \vee y_{10}^g (y_{11}^z (y_{12}^a x^d \vee y_{12}^n x^u) \vee y_{11}^n x^v) = 1, \quad (7)$$

$$z^4 \supset y_{10}^r x^b \vee y_{10}^z x^r \vee y_{10}^g (y_{11}^z x^z \vee y_{11}^n x^j) = 1, \quad (8)$$

$$z^5 \supset y_{10}^g x^n \vee y_{10}^z x^k \vee y_{10}^r (y_{11}^z (y_{12}^a x^t \vee y_{12}^n x^u) \vee y_{11}^n x^v) = 1, \quad (9)$$

$$z^6 \supset y_{10}^r x^f \vee y_{10}^z x^x \vee y_{10}^g (y_{11}^z x^c \vee y_{11}^n x^w) = 1. \quad (10)$$

Зависимость (7) при условии $z = 3$ вводит функцию смычных звонких фонем $x = g_3(y_{10}, y_{11}, y_{12})$, разделяющую на отдельные фонемы третье множество фонем. Она описывается следующей системой равенств:

$$x^b = y_{10}^r, \quad x^r = y_{10}^z, \quad x^d = y_{10}^g y_{11}^z y_{12}^a, \quad x^u = y_{10}^g y_{11}^z y_{12}^n, \quad x^v = y_{10}^g y_{11}^n. \quad (11)$$

Зависимость (8) при условии $z = 4$ вводит функцию щелевых звуков фонем $x = g(y_{10}, y_{11})$, разделяющую четвертое множество $x^b = y_{10}^r$, $x^r = y_{10}^3$, $x^s = y_{10}^p y_{11}^3$, $x^ж = y_{10}^p y_{11}^h$ (12). Зависимость (9) при условии $z = 5$ задает функцию смычных глухих фонем $x = g_5(y_{10}, y_{11}, y_{12})$, разделяющую пятое множество: $x^p = y_{10}^p$, $x^k = y_{10}^r$, $x^r = y_{10}^p y_{11}^3 y_{12}^h$, $x^u = y_{10}^p y_{11}^3 y_{12}^a$, $x^ч = y_{10}^p y_{11}^h$ (13). Зависимость (10) при условии $z = 6$ задает функцию щелевых глухих фонем $x = g_6(y_{10}, y_{11})$, разделяющую шестое множество: $x^f = y_{10}^r$, $x^x = y_{10}^3$, $x^c = y_{10}^p y_{11}^3$, $x^ш = y_{10}^p y_{11}^h$ (14). В табл. 3 приведены значения функций $g_3 \div g_6$.

Список литературы: 1. Маленченко З. Ю., Прасол Г. А. О моделировании связей между звуковой и текстовой формами речевого сообщения. — Пробл. бионики, 1983, вып. 31, с. 29—37. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П. О теории интеллекта. — Пробл. бионики, 1979, вып. 22, с. 3—11.

Поступила в редколлегию 29.03.

УДК 510.62

Н. В. РЯБОВА, Н. В. ШАРОНОВА

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОТСУБСТАНТИВНЫХ ИМЕ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫХ РУССКОГО ЯЗЫКА

Развитие вычислительной техники достигло того уровня, когда ЭВМ все больше используется для решения сложных, плохо поддающихся формализации, интеллектуальных задач. К ним относятся распознавание на ЭВМ смысла документа, машинный перевод с иноязычного текста, человеко-машинный диалог на естественном языке. Проблема формализованного описания деривационных процессов, и в частности деривационной номинации,— одна из самых актуальных. Это обусловлено тем, что деривационная номинация — основное средство обогащения лексического состава языка. Напомним, что под номинацией понимается «наречение предметов и ситуаций с помощью языковых средств, закрепление за определенным референтом того или иного специального знака» [1]. Распространенные способы номинации — словообразовательные способы. Среди них выделяется прежде всего словопроизводство — построение слов с помощью аффиксов. Самую распространенную систему аффиксов имеет имя существительное, в то же время оно — наиболее номинативная часть речи, поскольку уже само выделение существительного как части речи происходит на основании функции называния» [2]. Отсюда следует вывод об актуальности формализации номинативного словообразования имен существительных, особенно тех, которые наделены «предметным признаком», т. е. полученных в результате суффиксальной деривации при субстантивной производящей основе.

Отсубстантивные имена существительные представлены наименованием лиц и предметов по предмету, как-то с ними связанному. В их образовании чаще всего используются суффиксы *-ник* (с его вариантами *-овник*, *-арник*, *-атник*), *-чик/-щик*, *-ец*. Например: *сырник*, *ельник*, *шиповник*, *волчатник*, *ватник*, *тральщик*, *датчик*, *малинник*, *печник*, *лесник*, *терновник* и т. д.

Рассмотрим словообразовательную номинацию предметов. Для конкретизации и полноты построения математической модели возьмем только суффиксальные производные, полученные от субстантивных основ. Самый высокоупотребимый деривационный суффикс данного класса производных — суффикс *-ник*. При построении математической модели нами было выделено 19 «семантических ролей» этого суффикса. Отметим, что выделяемые «семантические роли», необходимые для формализации описания, зачастую являются гораздо более дробными, чем словообразовательные значения, приводимые, например, в работе [3]. При этом мы берем словообразовательное значение как «обобщенное структурно-лексическое значение, его инвариант».

В качестве формального аппарата описания используется алгебра конечных предикатов [4], которая позволяет записывать отношения на множестве деривационных морфов и ранее успешно применялась при описании ряда словоизменительных и словообразовательных процессов. Согласно [5] мы понимаем словообразовательный суффикс как фрагмент текста, обозначаемый X . Смысл фрагмента текста, вводимый при замене действия отброшенной части контекста, понимается как переменный вектор $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, где n — число компонентов смысла. Между X и Y существует связь, записываемая в виде отношения $L(X, Y)$. Поскольку в роли X выступает часть слова (деривационный суффикс), рассматриваем это отношение как морфологическое. При описании будем придерживаться принципа однозначности, согласно которому текст всегда однозначно зависит от его смысла, интерпретируем этот принцип как требование полноты набора признаков — компонентов смысла. С целью ограничения и конкретизации задачи вводим следующие фиксированные значения признаков: $\xi_1 = c$ (тип грамматических преобразований со значением «словообразование»); $\xi_2 = c$ (способ словообразования со значением «суффиксальный»); $\xi_3 = c$ (часть речи производящей основы со значением «существительное»); $\xi_4 = c$ (часть речи производного со значением «существительное»); $\xi_5 = n$ (признак одушевленности со значением «неодушевленный»). Введем также переменные признаки: x_1 — «абстрактности» со значениями a — абстрактный, k — конкретный; x_2 — «рукотворности» со значениями p — рукотворный, n — нерукотворный; x_3 — «единичности» со значениями e — единичный, n — неединичный; x_4 — «целый или часть предмета» со значениями c — целый, $ч$ — часть предмета; x_5 — «совокупности» со значениями c — совокупность, n — нет; x_6 — «содержания» со значениями x_6^c — «содержит в себе то, что названо в основе», x_6^n — «нет»; x_7 — «предназначения» со

значениями $x_7^п$ — «предназначен для того, что названо в основе», $x_7^н$ — «нет»; X_8 — «стилевой характеристики» со значениями с — специальный, терминологический, р — разговорный, о — областной, п — просторечье. Кроме введенных семантических признаков нам необходимо также использовать ряд признаков лексико-семантического свойства. Это связано со спецификой внутрикатегориальной деривации, когда ряд аффиксов, например *-ник*, несет на себе только общее категориальное значение «предмета, связанного с предметом, названным в основе». Конкретное же семантическое значение этот аффикс приобретает только при соединении с конкретной основой, причем это значение может не входить ни в значение основы, ни в значение аффикса. Для выявления всех семантических ролей деривационных аффиксов введем следующие значения лексико-семантических признаков: t_1 — «участок земной поверхности, территории, пространство» со значениями $t_1^п$ — «участок поверхности, покрытый тем, что названо в основе»; $t_1^н$ — «участок поверхности, на котором растет то, что названо в основе»; t_2 — «части тела, организма человека или животного» со значениями $t_2^д$ — «да», $t_2^н$ — «нет»; t_3 — «продукты питания» со значениями $t_3^д$ — «да», $t_3^н$ — «нет»; t_4 — «предметы быта, обихода» со значениями $t_4^п$ — «посуда, утварь», $t_4^о$ — «одежда», $t_4^с$ — «санитария, гигиена»; t_5 — «продукты интеллектуальной деятельности» (в данном случае «книги») со значениями $t_5^п$ — «с обязательным порядком перечисления того, что названо в основе», $t_5^н$ — «нет»; t_6 — «сооружения, постройки, помещения» со значениями $t_6^д$ — «да», $t_6^н$ — «нет». Следует отметить, что при разработке системы признаков были использованы данные традиционной грамматики [3], а также последние разработки в области лингвистики [6].

Семантический признак мы рассматривали как переменную, заданную на некотором множестве смысловых оттенков. При таком подходе, чтобы сформировать семантический признак, достаточно указать для него множество смысловых оттенков — значений признака. Разрабатывая семантические оттенки, мы использовали прием, частично употребляемый в описательной форме в традиционной лингвистике. Он состоит в попытке представить «значение производного слова дефиницией, содержащей исходное или мотивирующее слово или слова» [1]. Мы разработали конструкцию, называемую «пробный текст», в которой устанавливается однозначная зависимость между производящей основой Z , деривационным суффиксом Y и производным словом ZY . Например, текст «шипник обладает шипами» представляем в виде конструкции « ZY обладает Z -ами». Выделяя множество текстов с такими конструкциями, мы получаем оттенок «обладания». Рассмотрим другой пример: «чайник предназначен для чая» соответствует конструкции « ZY предназначен для Z », таким приемом выделяется оттенок «предназначения». Данный подход позволяет четко разграничивать

деривационные суффиксы в их конкретных семантических ролях, поскольку один и тот же суффикс в разных производных словах может характеризоваться различными наборами смысловых оттенков. С помощью введенной системы признаков устанавливается однозначное соответствие между деривационным суффиксом, с одной стороны, и конкретным набором семантических признаков, с другой. Покажем это на примерах. Обозначим буквы суффикса через y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 . Таким образом, имеем набор переменных y_i ($i = \overline{1,5}$) в соответствующих областях определения, задаваемыми уравнениями

$$\begin{aligned} y_1^0 \vee y_1^a \vee y_1^b \vee y_1^c \vee y_1^e &= 1; & y_2^b \vee y_2^m \vee y_2^p &= 1; \\ y_3^h \vee y_3^j &= 1; & y_4^a \vee y_4^s \vee y_4^k &= 1; & y_5^s &= 1. \end{aligned} \quad (1)$$

Суффикс *-ник* (с его вариантами *-овник*, *-арник*, *-атник*) как наиболее продуктивный встречается в различных словообразовательных типах. Покажем, как выражается его словообразовательная семантика с помощью введенной системы признаков. Пусть заданы значения признаков: X_2^h — нерукотворный, X_3^e — единичный, X_4^a — целый. В указанном случае производное слово имеет семантику «единичное растение». Уравнение имеет вид

$$x_2^h x_3^e x_4^a = (y_1^0 \vee y_1^a \vee y_1^b) (y_2^j \vee y_2^m \vee y_2^p \vee y_2^s) y_3^h y_4^a y_5^s. \quad (2)$$

На выбор конкретного деривационного морфа оказывает влияние производящая основа («ближний текст»). Правило таково: если производящая основа односложная, мужского рода, неодушевленная, то к ней присоединяется морф *-овник*, в остальных случаях — морф *-ник*. Обозначим это правило через A . Тогда правило выбора морфа *-овник* запишется в виде уравнения

$$Ax_1^h x_2^h x_3^e x_4^a = y_1^0 y_2^h y_3^h y_4^a y_5^k. \quad (3)$$

Например: *шиповник*, *крестовник*, но *лимонник*, *морковник*.

Пусть теперь заданы следующие значения признаков: x_1^k — «конкретный», x_2^h — «нерукотворный», x_3^e — «неединичный», x_5^e — «совокупность». На таком наборе признаков имеем два вида производных: первый — названия совокупностей деревьев, кустарников, растений (*березник*, *ельник*, *малинник*), второй — части тела, организма человека или животного (*кость*, *кишечник*). Зададим значение признака t_2^a . Тогда будем иметь уравнение

$$x_1^k x_2^h x_3^e x_5^e t_2^a = y_1^b y_2^j (y_3^h \vee y_3^j) (y_4^a \vee y_4^s) y_5^e. \quad (4)$$

Чтобы снять неоднозначность в третьей и четвертой буквах суффикса, введем значение переменной X_3 — «тилевая характеристика со значением «просторечный»». Тогда условие выбора суффикса *-як* запишется

$$x_1^k x_2^h x_3^e x_5^e x_3^a t_2^a = y_1^b y_2^j y_3^b y_4^a y_5^e. \quad (5)$$

Если признак X_2 принимает значение «рукотворный», то с помощью суффикса *-ник* и его вариантов образуются названия конкретных предметов (в широком смысле), изготовленных человеком в процессе его жизнедеятельности. Задав значения признаков: x_2^p — «рукотворный», x_6^c — «содержит в себе то, что названо в основе» (обладает признаком «содержания»), t_3^n — «продукты питания», имеем следующую группу производных: *сырник, творожник, морковник* и т. п. Уравнение таково:

$$x_1^k x_2^p x_6^c t_3^n = y_1^j y_2^j y_3^n y_4^k y_5^k. \quad (6)$$

При комбинации наборов признаков «рукотворный» (обладает признаком «содержания»), t_4^o — «одежда»), имеем уравнение

$$x_1^k x_2^p x_6^c t_4^o = y_1^j y_2^j y_3^n y_4^k y_5^k. \quad (7)$$

Производное из этой группы — *ватник*.

Таким образом, на примерах мы убедились, что между конкретными наборами смысловых переменных и деривационными аффиксами в их конкретных семантических ролях устанавливается однозначное соответствие. Для более полного описания необходимо учитывать влияние «ближнего текста», т. е. производящей основы.

Список литературы: 1. *Кубрякова Е. С.* Части речи в ономаσιологическом освещении. — М.: Наука, 1978. — 113 с. 2. *Земская Е. А.* Русская разговорная речь. — М.: Наука, 1981. — 275 с. 3. *Русская грамматика.* — М.: Наука, 1980. — 709 с. 4. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* Об алгебре конечных предикатов. — Пробл. бионики, 1979, вып. 22, с. 12—15. 5. *Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О математическом описании естественного языка. — Пробл. бионики, 1981, вып. 27, с. 9—13. 6. *Кубрякова Е. С.* Типы языковых значений. — М.: Наука, 1981. — 199 с.

Поступила в редколлегию 23.12.83.

УДК 62.506.2

В. И. РУБЛИНЕЦКИЙ, С. Ф. КОРЯК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ФРАЗЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ТЕКСТА НА ЭВМ

С развитием кибернетики становится актуальным общение человека с машиной на естественном языке. Эту проблему можно дробить по направлению общения (направление человек → машина, т. е. машинный анализ; направление машина → человек, т. е. машинный синтез) или по форме языка (звучащая речь — письменный текст). Рассмотрим ту часть вопроса, где исследуется машинный анализ текста, а точнее, решается задача, как машине найти границы между фразами в русском тексте обычного формата (со знаками препинания, прописными буквами, абзацами, отступами и т. д.).

Это несложно для человека, и поэтому хотелось бы решить ее на машине без ограничений на вход и с ограничениями на

метод. Первое требование предполагает следующее: работы, посвященные разным задачам машинного анализа текста, в связи с их трудностями ограничиваются текстами узкого семантического и стилистического класса. Возьмем в качестве входного текста любые научно-технические, деловые, публицистические, художественные тексты. Тогда задача осложняется, в чем легко убедиться, если попытаться представить программу, определяющую границы фраз(ы) в следующем, например, тексте:

«Тут молчание настало, долгое,— ну, думаю, наверное ее отчитывает — бог знает, за кого принял! — уж встать хочу, объяснить тому господину, что она — по молодости, и без отца росла, и без всякого там, скажем, какого-нибудь умысла... словом: дура — что... — и вдруг, опять заговорила: «Значит серые? Правда, серые? Нет, вовсе не как у всех людей, а как ни у кого в Москве и на всем свете! Я на лекции была и сама видела, только не знала, серые или зеленые... Вот и выиграла пари... Ура! Ура! Ура!.. Спасибо вам, Андрей Белый, за серые!» (М. Цветаева «Пленный дух»).

Что касается ограничений на метод, то важно понимать следующее: человек, воспринимая предложение, понимает его в ходе восприятия и прогнозирует его продолжение. В машинной системе выделение и понимание фраз удобнее распараллелить: сначала выделить предложение, а затем заниматься его семантическо-синтаксическим анализом. Поэтому выделение фразы хотелось бы проводить чисто формальными средствами без всякой опоры на («законченный») смысл. Однако возникают трудности в делении фразы, которые человек, пользуясь более сильными средствами, не замечает. Например, предложение:

«2 августа 1802 г. Наполеон был объявлен пожизненным консулом».

Машинная программа, если не ввести в нее учет аббревиатур, кончающихся точкой, разделяет пример (2) на два предложения до каждой точки.

Прежде чем продолжить алгоритм выделения фраз, необходимо выяснить, как поставленную задачу решает человек. Это необходимо не для моделирования человеческого способа, а для сравнения результатов выделения фраз машиной и человеком с целью отобрать лучший машинный алгоритм.

Традиционная лингвистика много занималась изучением предложения. Вот что говорит по этому вопросу В. А. Звягинцев: «Если Джон Рис в своей книге «Что такое предложение?», вышедшей вторым изданием в 1933 г., привел 139 определений предложения, то к настоящему времени легко можно было бы удвоить, если не утроить количество таких определений» [1]. Понятно, что традиционная лингвистика не владеет общепринятым алгоритмом деления текста на предложения, иначе не понадобилось бы столько определений. Одна из причин

трудности определения предложения состоит в том, что между предложением и совокупностью предложений нет четкой границы. Ниже делается попытка описать граничные трудности и выработать на смысловом уровне рабочее описание фразы.

Назовем терминальными следующие знаки препинания: . (точка) | ! (восклицательный знак) | ? (вопросительный знак). Примем следующее допущение 1: терминальный знак является необходимым признаком конца предложения. Сформулированное допущение верно в подавляющем большинстве случаев, но не всегда. Например, заголовки, подписи под рисунками, записи в таблице, надписи на чертежах и т. п. не имеют точки в конце. Другой пример — резко индивидуальная авторская пунктуация: так, Эмили Дикинсон кончает многие стихотворения знаком тире. Если принять допущение 1, то остается выяснить, когда терминальный знак является достаточным признаком конца предложения.

Оставляя в стороне примеры типа (2), представляющие трудности для машины, а не для человека, рассмотрим трудности более существенные, где и человек не всегда уверен в делении. В основном они связаны с прямой речью и вводными предложениями. Рассмотрим ряд примеров с прямой речью.

«Я сейчас приду», — сказал мальчик. (3)

«Кот на заборе!» — закричал мальчик. (4)

«Ой! // Смотрите! // Кот на заборе», — закричал мальчик. (5)

«Ой! // Смотрите! // Кот на заборе!» — закричал мальчик // — «Идите все сюда». (6)

Пример (3), несомненно, представляет одну фразу, пример (4), видимо, тоже лучше считать одной фразой, хотя внутри ее стоит терминальный знак. Но как трактовать примеры (5) и (6)? Будем считать, что эти примеры состоят из трех и четырех фраз соответственно (границы показаны парой косых скобок). Ясно, что пример (6) отличается от произвольного набора из четырех фраз некоей повышенной связанностью. Будем называть блок фраз типа (6) надфразовым единством с прямой речью (НЕПР). Нетрудно придумать алгоритм, который бы не только делил НЕПР на фразы, но и выделил бы его границы.

Второй типичный случай, где трудно уловить границу между фразами и надфразовыми единствами, — это предложения, в которые вклиниваются вводные предложения со своими терминальными знаками. Рассмотрим такой пример:

«Иванов (а ведь он был здесь в прошлом году!) не узнавал улицы». (7)

Здесь вместо скобок можно также поставить тире. Встречаются случаи, когда в скобках (но не в тире) стоит несколько вводных предложений:

«Последние времена пришли! — кипела она... (А то еще какой-то Александр Блок, что за фамилия такая? Из евреев, должно быть!) сочинил «Прекрасную даму», уж (8)

одно название чего стоит, стыда нет!» (М. Цветаева. «Пленный дух»).

Будем считать, что пример (7) состоит из одной фразы, а пример (8) — НЕПР из двух фраз. Приведенные выше объяснения примеров будем считать рабочим описанием фразы (и прекратим употреблять нерегулярный термин «предложение», как синоним фразы). Эмпирическим аргументом в пользу достаточности такого описания будем считать результат следующего эксперимента: десяти испытуемым дали прочитать приведенное выше описание и после этого они одинаково выделили первых сто фраз в «Пленном духе» М. Цветаевой, а ее синтаксис близок к пределу гибкости и сложности.

Для проверки эффективности машинных алгоритмов было выделено по 100 фраз из следующих текстов:

- А: М. Цветаева «Пленный дух» (как образец текста с очень сложным синтаксисом);
- Б: И. Тургенев «Отцы и дети» (как образец классической художественной прозы);
- В: Козьма Прутков «Черепослов, сиречь френолог» (как образец эмоциональной речи в форме пьесы);
- Г: Э. Дейкстра «Дисциплина программирования» (как образец прозы в кибернетическом жанре);
- Д: Д. Бухтияров и др. «Сборник задач по программированию на языке ПЛ/1» (как образец технического текста, богатого аббревиатурами, математическими обозначениями и нестандартными употреблениями знаков препинания).

Таким образом, имея материал для контроля и обучения, можно приступить к выборке алгоритма формального выделения фраз. Обсудим устройство и эффективность серии алгоритмов возрастающей сложности.

Пусть $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ — введенный в машину текст, а τ — класс терминальных знаков. Рассмотрим простейший алгоритм A_1 . 1° $i := 0$; 2° $i := i + 1$; печать t_i ; если $i = n$, то останов; 3° Если $t_i \in \tau$ & $t_{i-1} \in \tau$, то печать разделителя //; 4° Перейти к 2°. Условие в 3°: $t_i \in \tau$ & $t_{i-1} \in \tau$ позволяет однократно учитывать комбинации терминальных знаков (... ?? ?! и т. д.). Алгоритм выдает на печать введенный текст с разделителями фраз. Точность алгоритма A_1 показывает табл. 1. Ошибки в текстах А, Б, В в основном проходят по трем причинам: неправильно разделяются фразы типа (4) и (7) и по многоточиям внутри фразы (за многоточием

Таблица 1

Тип ошибки	Тип текста	Таблица 1				
		А	Б	В	Г	Д
Пропущена истинная граница		0	0	0	0	0
Найдена ложная граница		20	11	7	9	30

следует строчная буква), в тексте Г ложные границы фраз устанавливаются по точкам и после инициалов, в тексте Д — в аббревиатурах и формулах. Все нули в первой строке таблицы подтверждают реалистичность допущения 1.

Чтобы изложить следующие алгоритмы, введем некоторые обозначения для классов символов, из которых состоит текст. Будем обозначать B — прописная буква; b — строчная буква; C — цифра; D — другой знак (исключая знаки препинания); α — абзацный пробел; β — простой пробел; γ — кавычки; δ — тире; τ — терминальные знаки; ρ — круглые скобки (ρ_1 — открывающая, ρ_2 — закрывающая); σ — остальные знаки препинания.

Т а б л и ц а 2

Тип ошибки	Тип текста	Т а б л и ц а 2				
		А	Б	В	Г	Д
Пропущена истинная граница		0	0	0	0	0
Найдена ложная граница		5	1	0	8	3

Используя введенные обозначения, можно записать алгоритм A_2 :

- 1° $i_1 = 0$;
- 2° $i_1 = i + 1$; печать t_i ; если $i = n$, то останов;
- 3° Если $t_i \in \tau$ & $t_{i-1} \notin \tau$, то найти ближайший номер j ; $j \geq i$, такой что $t_j = B \vee \vee b \vee C \vee D \vee \alpha$;

3.1° Если $j = i + 1$, то перейти к 2°;

3.2° Если $t_j = b$, то перейти к 2°;

3.3° Если $t_j = B \vee C \vee D \vee \alpha$, то печать разделителя // и перейти к 2°.

Точность алгоритма A_2 характеризует табл. 2.

Из оставшихся 17 ошибок 10 возникают из-за ложного деления по точке после инициала, 3 — из-за сокращений, требующих точки (например, табл. 1, причем опасна первая точка, вторая устраняется блоком 3.1); еще 3 ошибки возникают в конструкциях типа (8) и 1 (в столбце В) — обязана сомнительной трактовке многоточия внутри фразы:

«Сын... кандидат... Аркаша...» — беспрестанно вертелось у него в голове. (9)

Чтобы устранить эти ошибки, надо, во-первых, взять словарь *Abbr*, где хранятся популярные аббревиатуры, требующие точек (включая инициалы), и, во-вторых, не учитывать терминальные знаки внутри скобок, входящих во фразу. Последняя оговорка важна, так как в скобках могут стоять автономные фразы и группы фраз. Эти поправки введены в алгоритм A_3 .

1° $i_1 = S_1 = 0$ (S — число открытых скобок внутри фразы);

2° $i_1 = i + 1$; печать t_i ; если $i = n$, то — останов;

2. 1° Если $t_i = \rho_1$, то $S_1 = S + 1$;

Если $t_i = \rho_2$ & $S > 0$, то $S_1 = S - 1$;

3° Если $t_i \in \tau$ & $t_{i-1} \notin \tau$, то

1.1° Если слово W перед t_i входит в $Abbr$ и $t_{i+1} \neq \alpha$, то перейти к 2°;

Если слово $W \in Abbr$ & $t_{i+1} \in \alpha$, то печать разделителя // и перейти к 2°;

3. 2° $j_1 = i$;

3.3° $j_1 = j + 1$; печать t_j ; если $j = n$, то печать разделителя // и останов;

3.4° Если $t_i = \beta \vee \gamma \vee \delta \vee \sigma \vee \rho_1$, то — перейти к 3.3°;

3.5° Если $t_j = \rho_2$ & $S > 0$, то $S := S - 1$ и перейти к 3.3°;

3.6° Если $t_j = b$, то перейти к 2°;

3.7° Если $t_j = B \vee C \vee D \vee \alpha$ & ($S = 0 \vee t_{j+1} = \rho_2$),

то печать разделителя //, $i_1 = j$; перейти к 2°.

Блок 3.1° в алгоритме учитывает, что точка после аббревиатуры считается концом фразы только в конце абзаца. Блоки 2.1°, 3.5° и 3.7° ведут учет скобок.

Точность алгоритма A_3 на материале обучения — одна ошибка (пример 9) на 400 фраз. Для экзамена алгоритм был проверен на 1000 фраз из источника Г, где он не дал ни одной ошибки, так что, несмотря на принципиальное существование фраз, где алгоритм делает ошибку, его точность можно считать хорошей. Данный алгоритм, обеспечивающий выделение фраз в тексте в совокупности с алгоритмом выделения слов в фразе [2] обеспечивает правильную подачу начальных данных для синтаксического анализа.

Список литературы: 1. Звягинцев В. А. Предложение и его отношение к языку и речи. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. — 160 с. 2. Бондаренко М. Ф., Рублинецкий В. И. Слово в вычислительной лингвистике. — Пробл. бионики, 1983, вып. 30, с. 17—25.

Поступила в редколлегию 05.12.83.

УДК 510.62

Т. Г. КАЛЕКИНА

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ОРФОЭПИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ БУКВОСОЧЕТАНИЙ И ОТДЕЛЬНЫХ ГРАММАТИЧЕСКИХ ФОРМ РУССКОГО ЯЗЫКА

В работе [1] был математически описан переход от орфографического представления текста к фонетическому. Описанию подлежали правила русской орфоэпии, находящиеся в закономерных отношениях с фонетической системой языка и поэтому вытекающие из написаний слова. Звуки речи находят в сложных отношениях с буквами. Между ними нет простого параллелизма и соответствия. В русском языке есть такие написания

отдельных слов и грамматических форм, произношение которых происходит вопреки закономерным отношениям между буквами и обозначаемыми ими звуками. В данной работе описываем указанные написания, т. е. описываем принятое в русском языке произношение отдельных слов, морфем, буквосочетаний [2]

Для решения этой задачи необходимо располагать уравнениями, математически описывающими переход от буквосочетаний и отдельных грамматических форм к их фонетической записи. Уравнения записываем на языке алгебры конечных предикатов.

Используем введенные в работе [1] следующие переменные u , соответствующую понятию «звук речи», а также обозначения для всех звуков речи. Знак * обозначает отсутствие звука, который соответствует непроизносимой букве, и вводится для того чтобы не нарушать соответствия между буквой орфографического текста и ее представлением в фонетической записи текста. Используем переменную x , принимающую в качестве своих значений все 33 буквы русского алфавита, а также пробел между словами. Пробел обозначим \square . Используем признак q , который делит все звуки речи на твердые и мягкие; признак r , который делит звуки речи на долгие, краткие и звуки нормальной длительности.

Пусть $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ — орфографическое представление текста. Здесь индексом i обозначена буква, стоящая на i -м месте в тексте; $u_1, \dots, u_i, \dots, u_n$ — фонетическое представление текста, где индексом i обозначен звук речи, соответствующий i -й букве в тексте.

Переходим к математическому описанию связей между орфографическими сочетаниями и их фонетическими представлениями. Ниже приводится словесная формулировка правил чтения буквосочетаний и их перевод на язык уравнений алгебры конечных предикатов.

Рассмотрим сочетания с непроизносимыми согласными.

При стечении между гласными нескольких согласных в некоторых сочетаниях один из согласных не произносится.

В сочетании стн звук [т] не произносится: $x_1^c x_2^r x_3^n \sim u_1^i u_2^i u_3^n$.
Примеры: *частник, участник, вестник, завистник, тростник, капустник, честный, грустный, яростный*.

В сочетании здн звук [д] не произносится: $x_1^z x_2^n x_3^n \sim u_1^z u_2^i u_3^n$.
Примеры: *поздно, праздник, звездный, уездный*.

В сочетании стл звук [т] не произносится, исключение составляют слова *костлявый, костлявость, постлать*, где [т] произносится в затвором:

$$x_3^s x_4^r x_5^n \supset ((x_1^k \vee x_1^n) x_2^o \sim u_1^{\bar{t}});$$

$$x_3^s x_4^r x_5^n \supset ((x_1^k \vee x_1^n) x_2^o \sim u_1^c u_4^i u_5^n).$$

В сочетании етск между гласными звук [т] обычно не произносится, при этом образуется двойной согласный из звуков [с]:

$$x_1^c x_2^t x_3^c x_4^k \sim u_1^a u_2^o u_3^o u_4^k.$$

Примеры: *большеви́тский, марксистский, максималистский, империалистский, меньшеви́стский, туристский.*

На месте сочетаний стц, здц между гласными произносится [сц]:

$$x_1^o (x_2^t \vee x_2^d) x_3^u \sim u_1^c u_2^o u_3^u.$$

Примеры: *голландцы, фламандцы, ирландцы, шотландцы, талантца, документца, брильянтца.*

Сочетание ндск между гласными обычно произносится без согласного [д]: $x_1^h x_2^d x_3^c x_4^k \sim u_1^h u_2^o u_3^o u_4^k$. **Примеры:** *шотландский, фламандский, финляндский.*

В сочетании нтск на месте т произносится [ц]:

$$x_1^h x_2^t x_3^c x_4^k \supset u_2^u.$$

Примеры: *комендантский, эмигрантский, докторантский, дилетантский, сектантский.*

В сочетаниях ндк согласный на месте д произносится как [т]:

$$x_1^h x_2^d x_3^k \supset u_2^t.$$

Примеры: *голландка, ирландка, шотландка, исландка.*

В сочетании вств первый звук [в] не произносится в следующих двух основах — чувств-и здравств-и:

$$x_1^y x_2^y x_3^b x_4^c x_5^t x_6^b \sim u_1^y u_2^o u_3^o u_4^o u_5^b u_6^b$$

$$x_1^b x_2^d x_3^b x_4^a x_5^b x_6^c x_7^t x_8^b \sim u_1^a u_2^o u_3^o u_4^a u_5^o u_6^o u_7^t u_8^b.$$

Звук [в] в сочетании лвств после л не произносится. В других случаях в сочетании вств на месте в произносится [ф]:

$$x_1^l x_2^b x_3^c x_4^t x_5^b \sim u_1^l u_2^o u_3^o u_4^t u_5^b.$$

$$x_2^b x_3^c x_4^t x_5^b \supset (J_1(x_1) \sim u_1^f),$$

где предикат J_1 соответствует понятию «буква гласного» [1]. **Примеры:** *нравственный, девственный, баловство, кумовство, сватовство, хвастовство, безмолвствовать.*

В сочетаниях рдц и рдч звук [д] не произносится:

$$x_1^p x_2^d (x_3^u \vee x_3^c) \sim u_1^p u_2^o (u_3^u \vee u_3^c).$$

Примеры: *сердцевина, сердце, сердчишко.*

В сочетании лнц не произносится звук [л]: $x_1^l x_2^a x_3^u \sim u_1^l u_2^o u_3^u$.

Пример: *солнце.*

На месте сочетаний сш и зш произносится двойной твердый [ш]:

$$(x_1^c \vee x_1^z) x_2^w \supset u_1^{ww} u_2^l.$$

Примеры: *замерзший, бесшумный, возросший, уползший.*

Сочетания сч и зч произносятся как долгий мягкий [ш]:

$$(x_1^o \vee x_1^a) x_2^a \supset u_1^w r_1^d q_1^m u_2^*$$

Примеры: *разносчик, извозчик, рассказчик, грузчик, счастье, считать.*

Сочетание здч произносится как долгий мягкий [ш]:

$$x_1^a x_2^d x_3^c \supset u_1^w r_1^d q_1^m u_2^* u_3^*$$

Примеры: *бороздчатый, громоздче.*

Сочетание жч произносится как мягкий долгий [ш]:

$$x_1^j x_2^a \supset u_1^w r_1^d q_1^m u_2^*$$

Примеры: *мужчина, перебежчик.*

Сочетания эж и жж произносятся как двойной [ж]:

$$(x_1^a \vee x_1^j) x_2^j \supset u_1^j r_1^d u_2^*$$

Примеры: *разжег, безжалостный, изжога, сжег, разжирел, дрожжи, вожжи, брызжет, езжу.*

На месте сочетания тс между гласными на стыке личного окончания и возвратной частицы -ся произносится двойной согласный [ц], т. е. [ц] с долгим затвором:

$$x_1^t x_2^c x_3^a x_4^l \supset u_1^t r_1^d u_2^a u_3^l u_4^*$$

Аналогично на месте орфографического сочетания тьс в инфинитиве — $x_1^t x_2^b x_3^c x_4^a x_5^l \supset u_1^t r_1^d u_2^a u_3^l u_4^* u_5^*$. Примеры: *несется, берутся, просятся, собираются, вертятся, боятся.*

На месте сочетаний тс или дс перед к произносится [ц]:

$$(x_1^t \vee x_1^d) x_2^c x_3^k \sim u_1^t u_2^* u_3^k$$

Примеры: *советский, братский, солдатский, детский, заводской, городской, людской, господский.*

Сочетания тс или дс перед тв произносятся как [ц]:

$$(x_1^t \vee x_1^d) x_2^c x_3^t x_4^b \sim u_1^t u_2^* u_3^t u_4^b$$

Примеры: *детство, богатство, братство, кокетство, благородство, садоводство, средство.*

В сочетаниях тск, дск на конце слова на месте тс или дс обычно произносится [ц]:

$$(x_1^t \vee x_1^d) x_2^c x_3^k x_4^l \sim u_1^t u_2^* u_3^k u_4^*$$

Примеры: *Братск, Кисловодск, Железноводск, Петрозаводск.*

На месте сочетаний тц, дц произносится аффриката [ц] с долгим затвором: $(x_1^t \vee x_1^d) x_2^c \supset u_1^t r_1^d u_2^*$. Примеры: *братца, ситца, краснофлотцы, молодцы, подцепит, канадцы, колодцы, двадцать, тридцать.*

Сочетание чн в современном литературном языке в словах *конечно, скучно, нарочно* произносится как [шн]:

$$x_1^k x_2^o x_3^h x_4^e x_5^h x_6^h x_7^o \supset u_5^w.$$

$$x_1^o x_2^k x_3^y x_4^y x_5^h x_6^o \supset u_4^w.$$

$$x_1^h x_2^h x_3^p x_4^o x_5^y x_6^h x_7^o \supset u_5^w.$$

Сочетание чт в слове *что* и производных от него произносится как [шт]: $x_1^c x_2^t x_3^h x_4^o \sim u_2^w$. Примеры: *ни за что, чтобы, что-то, кое-что, что-нибудь*.

Сочетания гк и гч произносятся как [хк], [хч]:

$$x_1^h (x_2^k \vee x_2^y) \supset u_1^x.$$

Примеры: *мягкий, легкий, легкомысленный, мягче, легче, смягчить*.

В сочетаниях дз и тз на месте букв д и т в беглой речи произносится звонкая аффриката [з], т. е. звук [ц], но произносимый с голосом [дз]: $(x_1^d \vee x_1^t) x_2^z \supset u_1^z$; $x_1^t x_2^l x_3^z \supset u_1^z$. Примеры: *подзадо- рить, надзиратель, от зависти*.

В сочетаниях тш, дш на месте букв т и д произносится твердая аффриката [ч]: $(x_1^t \vee x_1^d) x_2^sh \supset u_1^q$; $x_1^d x_2^l x_3^sh \sim u_1^q$. Примеры: *при- ведший, обветшалый, младший, под шубой*.

На месте сочетаний тч, дч произносятся мягкая аффриката [ч] с долгим затвором: $(x_1^t \vee x_1^d) x_2^ch \supset u_1^r q u_2^*$. Примеры: *летчик, подрядчик, укладчик, молодчина, отчество*.

Рассмотрим произношение отдельных грамматических форм.

На месте буквы г в окончаниях -ого, -его произносится звук [в]:

$$(x_1^a \vee x_1^e) x_2^g x_3^o x_4^l \supset u_2^b.$$

Примеры: *большого, больного, слепого, старого, богатого, этого того, кого, чего, всего*.

Слова *сегодня, сегодняшний*, в состав которых входит место- именная форма *сего*, произносятся со звуком [в] на месте буквы г:

$$x_1^c x_2^e x_3^g x_4^o x_5^h x_6^h \supset u_3^b.$$

Рассмотрим произношение двойных согласных.

При стечении двух одинаковых согласных, которые относятся к разным морфемам, произносится двойной согласный:

$$(J_2(x_1) = J_2(x_2)) \supset (M_1(x_1) M_2(x_2) \sim r_1^d u_2^*),$$

где предикат J_2 соответствует понятию «буква еогласного», предикаты M_1 и M_2 — понятию «морфема слова» [1]. Примеры: *бесслед- ный, раззнакомился, беспспорный, восстановление*.

При стечении двух одинаковых согласных не на стыке морфем имеется тенденция к утрате долготы:

$$(J_2(x_1) = J_2(x_2)) \supset (M(x_1) M(x_2) \sim r_1^d u_2^*).$$

Примеры: *аттракцион, аппликация, аффриката, аккредитив*.

Двойной согласный урпощается перед двумя согласными:

$$(J_2(x_1) = J_2(x_2)) \supset (J_2(x_3) J_2(x_4) \sim r_1^* u_2^*).$$

Примеры: *расстрелять, расспросить, бесструнный.*

Двойной [р] на стыке морфем в русском языке отсутствует

$$x_1^p x_2^p \supset u_1^p u_2^*.$$

Двойной [л] практически не встречается в русском языке на стыке морфем: $x_1^l x_2^l \sim u_1^l u_2^*$. **Примеры:** *апелляция, баллада, балласт, бюллетень, иллюзия, коллега.*

Двойные [ф], [п], [к], [м] всегда произносятся нормальной длительности:

$$x_1^f x_2^f \supset u_1^f u_2^*, \quad x_1^p x_2^p \supset u_1^p u_2^*.$$

$$x_1^k x_2^k \supset u_1^k u_2^*, \quad x_1^m x_2^m \supset u_1^m u_2^*.$$

Примеры: *аффект, дифференциация, эффект, аппарат, аппетит, аккорд, аккуратный, аммиак, асимметрия, грамматика.*

Двойные согласные на конце слова.

В русском языке действует тенденция к утрате долготы согласного на конце слова:

$$(J_2(x_1) = J_2(x_2)) \supset (x_3^l \sim r_1^* u_2^*).$$

Примеры: *ватт, класс, грамм. балл.*

После получения фонетической модели текста применяем операцию упаковки [3]. В результате операции уничтожаются u^* , которые соответствуют непронизносимым буквам, внутри фонетических слов.

Список литературы: 1. Бондаренко М. Ф., Маленченко З. Ю., Прасол Г. А., Калекина Т. Г. О математическом описании орфоэпических связей в русских словах для гласных звуков. Рукопись деп. в УкрНИИТИ 19. 09. 83, № 979 — 83 Деп. — 210 с. 2. Аванесов Р. И. Русское литературное произношение. — М.: Просвещение, 1972. — 412 с. 3. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Начала теории интеллекта. 4. 1. Математические средства. Рукопись деп. в ВИНТИ 29. 08. 82, № 3322 — 82 Деп. — 240 с.

Поступила в редколлегию 17. 06. 83.

УДК 610.52

Е. А. СОЛОВЬЕВА, канд. техн. наук, С. И. МАТОРИН

К ВОПРОСУ О ФОРМАЛИЗАЦИИ СМЫСЛА НА СЛОВООБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УРОВНЕ

Для решения насущных проблем, связанных с автоматической обработкой текстов (АОТ), необходимо моделирование способности человека владеть языком в соответствии с нормами языка [1, 2 и др.]. Создание такой модели включает формализацию

одной из самых сложных и малоизученных систем языка — семантики.

Семантика естественного языка (СЕЯ) изучает отношение текст — смысл, точнее, отношение знака к его концепту и денотату¹, поэтому разработка модели указанного отношения — естественный подход к моделированию СЕЯ. Подход «смысл — текст» широко применяется, например, при машинном переводе (МП). В работе [3] поставлена цель математического описания в общем виде отношения $L(X, Y)$, где X — смысл, Y — текст. Одна из фундаментальных проблем, без решения которой невозможно описать $L(X, Y)$, — исследование и формализация смысла X . Таким образом, изучение смысла является правомерным.

Отметим актуальность изучения смысла. По мнению ряда авторов, «нынешняя эпоха развития лингвистики — это эпоха семантики» [4]. Различные представления смысла текстов на ЕЯ применяются в системах общения человека с ЭВМ, искусственного интеллекта, МП и других промышленных системах АОТ. По мере развития данных систем значение формализованных описаний смысла в них возрастает. Считается, что самостоятельный семантический уровень — свидетельство качественного скачка систем МП. Таким образом, описание смысла важно для разработки современных систем АОТ.

Смысл плохо изучен даже в рамках семантики. «Понятие смысла (концепта), ..., осмысленности, ..., относятся к теории смысла, эта область семантики находится в начальной стадии развития» [5]. Недостаточность знаний о смысле тормозит построение семантической компоненты в системах АОТ. Неработанность вопросов, связанных с семантическим моделированием, отмечается, например, в работах по МП.

С формальной точки зрения задачи изучения X и отношения $L(X, Y)$ различны. Сравним их с содержательной стороны, отметив различия. Приведем примеры отличия L от X . Описание синонимии как частного случая L , когда для фиксированных элементов смысла определяются соответствующие им фрагменты текста, войдет в модель L , но не войдет в модель X . В свою очередь, для моделирования смысла X нужно изучить отношения между его элементами и законы их взаимодействия, что не является необходимым при описании L .

Отличия смысла X от текста Y и Y от L более наглядны. Таким образом, изучение X , Y и L — связанные между собой, но различные проблемы.

Рассмотрим необходимость самостоятельного изучения смысла. Одним из аргументов в пользу данного утверждения служит отмеченное выше несовпадение задач изучения X , Y и L . Кроме того, существенно отличаются их объекты, цели и

¹ Возможна и другая терминология, но это не меняет сути дела.

области практического использования результатов. Различия объектов хорошо иллюстрируются тем, что явления, характерные для текста как знаковой системы и его фрагментов (например, чередование букв в словах), имеют иную природу, чем особенности элементов смысла (законы взаимодействия лексических значений и др.) или отношения «смысл — текст» (синонимия и т. д.). Что касается целей и применения результатов моделирования трех задач, то они совпадают только частично, например, в своей основной области — $L(X, Y)$. Изучение X во всех его аспектах может понадобиться для построения формализованного языка, реализации новых элементов смысла, Y — для орфографических и корректурных задач и др. На основании сказанного выше изучение смысла через фрагменты текста не противоречит тому, что смысл X , так же как L или Y , должен стать самостоятельным объектом исследования.

Несмотря на актуальность и необходимость изучения смысла, его исследование и математическое описание не проводится систематически ни одной наукой. Отношение «смысл — текст» изучает семантика, кибернетика и другие науки (вынужденно изучаются и отдельные элементы смысла), строение текста — грамматика, восприятие текста адресатом — прагматика. Языкознание, исследуя фрагменты текста, частично рассматривает и выражаемый ими смысл на грамматическом, словообразовательном и других уровнях, но полученных результатов недостаточно для формализации смысла. Ближе всего к изучению смысла ЕЯ стоит семантика. Раньше семантика занималась в основном тем, как слова значат, а не что они значат; сейчас семантика включает описания грамматических, лексических и иных смысловых значений [4], но не выделяет их в целом в самостоятельный объект изучения. Таким образом, смысл X в отличие от L и Y не является предметом изучения ни одной науки, хотя это стало насущной задачей.

Исходя из сказанного выше сделаем вывод о том, что может стать полезной новая наука («концептология»), которая будет изучать смысл, выражаемый на ЕЯ, с целью его математического описания. Необходимо исследование смысла, составляющих его элементов, их структуры, законов взаимодействия. С точки зрения семиотики наука о смысле, как и синтактика, не будет составной частью семантики. Важная проблема науки о смысле — разработка метаязыка описания смысла (такой язык предложен, например, в работе [6]) — может решаться по мере накопления знаний о природе смысла. При изучении смысла как сложной системы могут оказаться полезными методы и математический аппарат моделирования сложных систем.

Исследование смысла — исключительно сложная проблема. «Форма отражения природы в познании человека, эта форма и есть понятия, законы, категории *etc.* Человек не может охва-

тить = отразить = отобразить природы *всей*, полностью, ее «непосредственной цельности», он может лишь *вечно* приближаться к этому, создавая абстракции, понятия, законы, научную картину мира и т. д. и т. п.»¹.

Один и тот же смысл может быть выражен на различных уровнях ЕЯ. Незнученность строения смысла и соотношения его уровней с уровнями языка затрудняет вопрос, с чего начать изучение смысла. Можно рассмотреть фрагменты смысла, например, такие, как значение *направления действия в пространстве* (НДП), и изучать их структуру [7]. Чтобы меньше зависеть от особенностей плана выражения языка, целесообразно зафиксировать его уровень. Выберем для моделирования низший уровень языка, в котором есть план содержания. Один из указанных важных уровней — словообразовательный, смысл на котором статичен в отличие от динамичного смысла текста.

Словообразовательные значения участвуют в формировании смысла слова. Например, приставка *в* может добавить к значению глагола значение *НДП внутрь* (*лететь — влететь, бежать — вбежать*), приставка *вы* — значение *НДП наружу* (*вылететь, выбежать*) и т. д. Для определения смысла слова нужно уметь определить смысл его частей, в частности словообразовательных формантов (СФ). В свою очередь, смысл слова влияет на смысл предложения и текста. Обоснуем выбор словообразовательного уровня языка для изучения смысла подробнее.

По сравнению с грамматическими значениями словообразовательные значения (СЗ) хуже изучены, а также сложнее семантически и связаны с семантикой основы. По сравнению с лексическими СЗ — более общие и чаще используются в языке. СЗ обобщают, они системны, а не индивидуальны, «отличаются от лексических индивидуальных значений своей обобщенностью» [8]. Считается, что целесообразнее изучать более общие значения (пространственные, временные и др.) и «угадать общие математические схемы, воплощенные в языковой реальности» [9]. Такими схемами можно считать СЗ продуктивных типов, которые участвуют в образовании новых слов.

СЗ, по мнению лингвистов, играют классифицирующую роль по отношению к значениям основ, поэтому изучение СЗ позволяет выделить смысловые признаки для классификации корней. Словообразовательная семантика не только тесно связана с лексической семантикой, но и, как показывают исследования, участвует в непосредственном формировании смысла предложения, текста, включая пресуппозиции. Влияние СЗ на смысл и структуру предложения заключается в том, что добавление СЗ может изменить валентности слова, т. е. участников ситуации, описанной в предложении, и содержание валентностей. Приве-

¹ Ленин В. И. Философские тетради. — М.: Изд-во полит. лит., 1969.—752 с.

дем пример влияния смысла СФ на смысл языковых структур на уровне текста. В глаголе *разлюбил* (*А разлюбил Б*) префикс *раз* может нести значение *аннулирования результата предшествующего действия*, следовательно, ранее должно было совершиться действие *А полюбил Б*. Таким образом, знание смысла СФ необходимо для определения смысла текстов в качественных системах АОТ.

Составной частью словообразовательной семантики является словообразовательная семантика глагола — одной из самых сложных и емких частей речи. Без изучения СЗ глагола невозможно описать пространственные, временные и другие смысловые значения на уровне слова. Цель настоящей работы — исследование и математическое описание смысла СФ глаголов, необходимое для моделирования отношения $L(X, Y)$ на словообразовательном и других уровнях. Работа выполняется на материале русского языка с учетом сложных и малоизученных аспектов русской словообразовательной семантики.

Рассмотрим некоторые особенности изучения смысла СФ. Основная трудность формализации смысла СФ — его недостаточная изученность с точки зрения математического описания. Для исследования значения некоторого СФ необходимо рассмотреть данное СФ с одной из мотивирующих основ в различных ситуациях, затем сделать то же для других основ и сравнить полученные результаты с аналогичными результатами для других СФ. При этом целесообразно изучить не только допустимые, но и запрещенные варианты. Исследование русских глаголов проводилось на базе словаря [2].

В ряде случаев необходимо обращение к процессам словообразования например, для выявления мотивирующего слова. СЗ — это «то общее значение, которое отличает все мотивированные слова данного типа от их мотивирующих», «носителем словообразовательного значения является формант» [1]. СЗ принадлежит форманту (в данном случае приставке), если он добавляется к мотивирующему бесприставочному глаголу. Если же при образовании нового слова один формант заменяется другим, то СЗ последнего будет определяться относительно СЗ первого форманта.

Возьмем СЗ *аннулирование результата предшествующего действия, отказ от чего-либо (разбронировать, отдумать), противоположное действие (демобилизовать, дисгармонировать)* и соответствующие им СФ: *раз, от, де, дис*, которые выделяются в работе [1]. По вопросу словообразования глаголов с данным СЗ у лингвистов нет единого мнения. Ряд ученых, например И. С. Улуханов, считают, что для приставки *рас* присоединительная префиксация *крутить — раскрутить* существует в ряде случаев наряду с заменительной *закрутить — раскрутить*. «Русская грамматика» для префиксов *рас* и *от* признает только заменительную префиксацию (некоторые лингвисты вообще отри-

дают это явление), а для *де* и *дис* — присоединительную, но не различают СЗ из-за различия моделей словообразования [1]. Не отмечается тот факт, что при заменительной модели словообразования СЗ — относительно, а в случае присоединительной модели — абсолютно. При определении смысла СФ получены их относительные и абсолютные значения.

Для формализации данных СЗ предложен ряд смысловых признаков, на основании которых выделены смысловые классы глаголов и выявлены различные схемы взаимодействия смыслов. Связь семантики СФ с семантикой мотивирующей основы и их взаимодействие рассматривается и для других СЗ.

Важной задачей является выявление структуры СЗ. На то, что значения «обладают собственным строением», указывается даже в работе [10], но не рассматривается это строение. Одним из элементов структуры СЗ предлагается считать ситуативные признаки — валентности. По мнению ряда авторов, в основу языка для лингвистической семантики «должно быть положено... понятие ситуации» [10]. Описание ситуаций с помощью валентностей, фреймов и иных аналогичных способов используют Ю. Д. Апресян, Ч. Филмор, Н. Н. Леонтьева, Е. А. Шингарева и многие другие ученые, не распространяя, однако, ситуативные признаки на словообразовательный уровень. Применение валентностей для математического описания СЗ предложено в работах [7, 11].

Например, в [1] выделены СЗ *приближение*, *присоединение к чему-либо* (*подойти*, *прилипнуть*) и *прибытие* или *доставка* (*прийти*, *отвезти*.) Исследования показали [7], что приведенные значения имеют общее значение *приближения*, остальные значения обеспечиваются реализацией различных валентностей (СФ или основы) либо определенным значением мотивирующего глагола. Так, СЗ *прибытие* и *доставка* различаются валентностью *объект* мотивирующего глагола (ср. *приехать* и *привезти* и т. д.).

В развитие работы [7] предлагается обобщить понятие семантической точки отсчета *НДП* в виде *n*-мерного семантического ориентира. Значение $n=0$ соответствует точке, $n=1$ — линии, $n=2$ — поверхности, $n=3$ — некоторому объему. Рассматриваются также системы ориентиров (например, система 0-мерных ориентиров вместо системы точек), направленные ориентиры. Обобщены валентности, связанные с соответствующими ориентирами. 0-мерные и 1-мерные семантические ориентиры применены также для описания СЗ *характера совершения действия во времени*.

Полученная система признаков использована для разработки математической модели. Модели содержат уравнения определения переменных, сочетаемости элементов смысла, их связи с элементами текста и ряд других. Рассмотрено распараллеливание моделей и другие аспекты их реализации.

Для описания элементов смысла и их отношения к СФ выбран математический аппарат алгебры конечных предикатов (АКП), разработанный Ю. П. Шабановым-Кушнаренко [12 и др.]. АКП предназначена для описания конечных, дискретных, детерминированных объектов и позволяет описать отношения между объектами в виде системы логических уравнений, которые могут быть решены вручную или на ЭВМ с помощью программы решения уравнений АКП [13].

Модели действуют на глаголах из словаря [2] и могут использоваться в системах АОТ, включающих словообразовательный уровень языка. На данном этапе работы можно считать, что ЭВМ выделяет смысл СФ (в соответствии с терминологией в работе [14]).

Изучение смысла на словообразовательном уровне — составная часть моделирования смысла естественно-языковых конструкций. Рассматривается также формализация смысловых (временных и др.) значений на различных уровнях языка.

Необходимость моделирования способности человека «отвлекаться от формы выражения, от способа развертывания мысли в ЕТ (естественном тексте) ... и оперировать только содержательными единицами [6] подтверждает важность поставленной проблемы математического описания смысла.

Список литературы: 1. *Русская грамматика*, т. 1. — М.: Наука, 1974. — 783 с. 2. *Словарь русского языка* / Под ред. С. И. Ожегова. — М.: Наука, 1956. — 848 с. 3. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Бондаренко М. Ф.* О математическом описании естественного языка. — Пробл. бионики, 1980, вып. 28, с. 15 — 21. 4. *Апресян Ю. Д.* Лексическая семантика (Синонимические средства языка). — М.: Наука, 1974. — 367 с. 5. *Кондаков Н. И.* Логический словарь-справочник, изд. 2-е. — М.: Наука, 1975. — 720 с. 6. *Леонтьева Н. Н.* О компонентах системы понимания текста. — В кн.: Уровни текста и методы его лингвистического анализа. М.: ИЯ АН СССР, ВЦП, 1982, с. 124 — 140. 7. *Соловьева Е. А., Жуков О. А.* Исследование фрагментов лексической семантики русского глагола. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 36 — 43. 8. *Кубрякова Е. С.* Основы морфологического анализа. — М.: Наука, 1974. — 319 с. 9. *Шрейдер Ю. А.* Некоторые особенности математического описания языковых объектов. — *Papers in Computational Linguistics*. — Будапешт: Изд-во АН Венгрии, с. 31 — 41. 10. *Диковский А. Я., Гладкий А. В.* Об одном подходе к созданию точного языка лингвистической семантики. — В кн.: Интерактивные системы: Тез. докл. Тбилиси, 1982, с. 5 — 6. 11. *Соловьева Е. А.* Исследование и моделирование элементов словообразовательной семантики. — В кн.: Международный семинар по машинному переводу: Тез. докл. М., 1983, с. 208 — 209. 12. *Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О теории интеллекта. — Пробл. бионики, 1979, вып. 22, с. 3 — 11. 13. *Бондаренко М. Ф., Бондарев В. М.* Программа решения уравнений алгебры конечных предикатов. — РФАП ИК АН УССР справка № 111. 14. *Попов Э. В.* Общение с ЭВМ на естественном языке. — М.: Наука, 1982. — 360 с.

Поступила в редакцию 20. 12. 83.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Во многих прикладных задачах обработки визуальной информации возникает необходимость анализа изображений, полученных при помощи нескольких датчиков или одного датчика, но в разное время. Математическими моделями возникающих при этом деформаций изображений являются группы геометрических преобразований. Знание параметров группы преобразований дает возможность определять ориентацию датчиков видеoinформации, компенсировать геометрические искажения и осуществлять опознание путем сравнения с эталоном. Реализация алгоритмов поиска коэффициентов преобразования в реальном масштабе времени на современных микропроцессорных средствах предъявляет ряд требований к методам вычисления неизвестного элемента группы. В частности, алгоритмы должны обладать ограниченной вычислительной сложностью, допускать возможность обработки изображений по отдельным фрагментам.

Настоящая работа посвящена разработке эффективного алгоритма определения параметров произвольной группы геометрических преобразований, сводящего вычисления к решению последовательности систем линейных уравнений.

Пусть в некоторой ограниченной замкнутой области $D \subset E_2$, называемой полем зрения датчика видеoinформации, наблюдаются изображения трехмерных сцен $F(x, t)$, $x \in E_2$, t — время. Значения функции $F(x, t)$ определяются выражением $F(x, t) = \lambda(x, t)B(x, t) + \{1 - \lambda(x, t)\} \Phi(x, t) + n(x, t)$, $\forall x \in D$, где $\lambda(x, t)$ — характеристическая функция изображения $B(x, t)$ анализируемого объекта,

$$\lambda(x, t) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in D^*, \\ 0, & \text{если } x \in D/D^*, \end{cases}$$

$D^* \subset D$ — носитель функции распределения яркостей $B(x, t)$; $\Phi(x, t)$ — функция распределения яркостей изображений фоновых объектов; $n(x, t)$ — аддитивный шум, обусловленный флуктуациями атмосферы, внутренними шумами датчика видеoinформации и т. д. Для простоты дальнейшей записи положим, что датчик видеoinформации и фоновые объекты неподвижны. Тогда евклидовы движения объекта в E_3 индуцируют изменения изображений сцен в E_2 и в некоторые фиксированные моменты времени t_2 , t_1 ($t_2 \rightarrow t_1 + 0$). Этот случай соответствует анализу последовательности изображений, получаемой в реальном масштабе времени) связаны следующим соотношением:

$$F(x, t_2) = \lambda(T_g x, t_1) B(T_g x, t_1) + \{1 - \lambda(T_g x, t_1)\} \Phi(x, t_1) + n(x, t_1), \quad (1)$$

где T_g — действие r — параметрической группы G , т. е. $T: G \times \times D \rightarrow D$. Потребуем, чтобы преобразования были эффективны и невырожденны, т. е. $\forall x T_g x = x$ только при $g = e$, $g, e \in G$, e — единица группы и, если $T_g x = (T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2))$, то

$$\det \begin{pmatrix} \frac{\partial T_g^1(x_1, x_2)}{\partial x_1} & \frac{\partial T_g^1(x_1, x_2)}{\partial x_2} \\ \frac{\partial T_g^2(x_1, x_2)}{\partial x_1} & \frac{\partial T_g^2(x_1, x_2)}{\partial x_2} \end{pmatrix} \neq 0.$$

Кроме того, потребуем, чтобы $B(x, t) \in C^2(D)$.

Задача заключается в нахождении элемента g по двум изображениям сцен $F(x, t_1)$ и $F(x, t_2)$.

Предположим, что задача фильтрации и выделения изображения из фона решена, тогда равенство (1) примет вид

$$B_{t_2}(x_1, x_2) = B_{t_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)). \quad (2)$$

Очевидно, что при $t_2 \rightarrow t_1 + 0$, $g \rightarrow e$. Ограничившись линейной частью, запишем разложение функции $B_{t_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2))$ в ряд Тейлора по степеням преобразования в окрестности единицы группы:

$$\begin{aligned} B_{t_2}(x_1, x_2) = & B_{t_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)) \Big|_{g=e} + \left\{ \sum_{i=1}^r \left(\frac{\partial B_{t_1}(x_1, x_2)}{\partial x_i} \times \right. \right. \\ & \times \left. \frac{\partial T_g^1(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i} \Big|_{g=e} + \frac{\partial B_{t_1}(x_1, x_2)}{\partial x_2} \frac{\partial T_g^2(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i} \Big|_{g=e} \right\} (\hat{g}_i - \hat{e}_i) + \\ & + R_2(g, x_1, x_2), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\hat{g} = (\hat{g}_1, \hat{g}_2, \dots, \hat{g}_r) \in E_r$ — вектор параметров преобразования T_g ; $\hat{e} = (\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_r) \in E_r$ — вектор, описывающий тождественное преобразование; $R_2(g, x_1, x_2)$ — остаточный член.

Разложение (3) выполняется для всех точек точек зрения, принадлежащих носителю изображений $\hat{D} = D_{t_1} \cup D_{t_2}$. Учитывая цифровую форму представления изображений, выделяя точки $(x_1^i, x_2^i) \in \hat{D}$, получаем систему линейных уравнений: $\Delta b = P \hat{g}$ (4), где $\Delta B = B_{t_2}(x_1^i, x_2^i) - B_{t_1}(x_1^i, x_2^i)$ — вектор $L \times 1$, $L \leq N$, N — количество дискретных отсчетов в поле зрения; P — матрица $L \times r$, определяемая выражением под знаком суммы соотношения (3); \hat{g} — вектор $r \times 1$ неизвестных параметров преобразования. Таким образом, $\hat{g} = P^+ \Delta B$ (5), где P^+ — псевдообратная матрица.

Для поиска решения в виде (5) системы (4) одновременно с определением ΔB будем методом Гревилля [1] вычислять матрицу P^+ . Пусть p_k — k -й столбец матрицы P , $k = \overline{1, r}$; $P_k = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ — матрица, образованная первыми k -столбцами матрицы P ; q_k — последняя строка матрицы P_k^+ . Тогда $P_1^+ = P_1^+ = p_1^T (p_1^T p_1)^{-1}$, если $p_1 = 0$, то $P_1^+ = 0$,

$$P_k^+ = \begin{pmatrix} Q_k \\ q_k \end{pmatrix}, \quad Q_k = P_{k-1}^+ + d_k q_k, \quad d_k = P_{k-1}^+ p_k, \quad (6)$$

$$q_k = \begin{cases} (p_k - P_{k-1} d_k)^+, & \text{если } P_k \neq p_{k-1} d_k, \\ (1 + d_k^T d_k)^{-1} d_k^T P_{k-1}^+, & \text{если } P_k = p_{k-1} d_k. \end{cases}$$

Пусть найденному решению \hat{g} соответствует элемент группы g^0 . Если действие группы нелинейно, то, поскольку в разложении (3) учитывается только линейная часть, может оказаться, что $\rho_G(g, g^0) \leq \varepsilon_0 \leq \rho_G(g, e)$, но достаточно велико; это означает

$$\rho_B(B_{t_i}(x_1, x_2), B_{t_i}(T_{g^0}^1(x_1, x_2), T_{g^0}^2(x_1, x_2))) > \delta.$$

Здесь δ — требуемая точность приведения изображения к эталонному виду; ρ_G — метрика на группе преобразований; ρ_B — метрика в пространстве изображений.

Для более точного определения g воспользуемся итерационной процедурой, в которой на $m+1$ шаге с целью составления системы (3) будем разлагать функцию $B_{t_i}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2))$ в ряд Тейлора в окрестности уже найденного элемента группы g^m . При этом

$$B_{t_i}(x_1, x_2) = B_{t_i}^m(x_1, x_2) + \left\{ \sum_{i=1}^r \left(\frac{\partial B_{t_i}^m(x_1, x_2)}{\partial x_1} \frac{\partial T_g^1(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i} \Big|_{g=g^m} + \frac{\partial B_{t_i}^m(x_1, x_2)}{\partial x_2} \frac{\partial T_g^2(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i} \Big|_{g=g^m} \right) (\hat{g}_i - g_i^m) \right\} + R_2(g^m, x_1, x_2), \quad (7)$$

где $B_{t_i}^m(x_1, x_2) = B_{t_i}(T_{g^m}^1(x_1, x_2), T_{g^m}^2(x_1, x_2))$.

Проанализируем сходимость указанного процесса. Найдем связь ошибки $\rho_G(g, g^m) = \varepsilon_{m+1}$ на $m+1$ шаге итерации с ошибкой на предыдущем шаге. Учитывая равенство (2), перепишем разложение (7) в виде

$$B_{t_i}(x_1, x_2) = B_{t_i}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)) = \bar{B} \{T_{g^m}^1(x_1, x_2), T_{g^m}^2(x_1, x_2)\} + R_2(g^m, x_1, x_2).$$

Отсюда $\forall (x_1, x_2) \in \hat{D}^*$ и выполняется условие

$$|B_{t_i}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)) - \bar{B} \{T_{g^m}^1(x_1, x_2), T_{g^m}^2(x_1, x_2)\}| \leq \max_{(x_1, x_2) \in \hat{D}^*} |R_2(g^m, x_1, x_2)|. \quad (8)$$

Остаточный член разложения (7) имеет вид

$$R_2(g^m, x_1, x_2) = \sum_{i=1} \left(\frac{\partial^2 B_{i_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_1^2} \frac{\partial^2 T_g^1(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i^2} \Big|_{g=g^m} + \frac{\partial^2 B_{i_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_2^2} \frac{\partial^2 T_g^2(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i^2} \Big|_{g=g^m} \right) \frac{(\hat{g}_i - \hat{g}_i^m)^2}{2}.$$

Учитывая, что область D ограничена и замкнута и $B_{i_1}(x_1, x_2) \in C^2(D)$, получаем существование величины

$$M = \max_{i=1, r} \max_{(x_1, x_2) \in \hat{D}} \max_{g \in \rho_G(g, g^m) < \varepsilon_m} \left| \frac{\partial^2 B_{i_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_1^2} \frac{\partial^2 T_g^1(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i^2} \Big|_{g=g^m} + \frac{\partial^2 B_{i_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_2^2} \frac{\partial^2 T_g^2(x_1, x_2)}{\partial \hat{g}_i^2} \Big|_{g=g^m} \right|.$$

$$\text{Тогда } \max_{(x_1, x_2) \in \hat{D}} |R_2(g^m, x_1, x_2)| \leq \sum_{i=1} \frac{1}{2} \varepsilon_m^2 M = \frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M.$$

Подставляя полученную оценку в неравенство (8), находим

$$|B_{i_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)) - \bar{B}_{i_1}(T_{g^m}^1(x_1, x_2), T_{g^m}^2(x_1, x_2))| \leq \frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M. \quad (9)$$

Рассмотрим модуль непрерывности функции $B_{i_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2))$ [2]:

$$\omega(\varepsilon_m) = \max_{(x_1, x_2) \in \hat{D}} \max_{\rho_G(g, g^m) < \varepsilon_m} |B_{i_1}(T_g^1(x_1, x_2), T_g^2(x_1, x_2)) - B_{i_1}(T_{g^m}^1(x_1, x_2), T_{g^m}^2(x_1, x_2))|. \quad (10)$$

Поскольку функция $\omega(\varepsilon_m)$ по определению непрерывна и монотонна, существует обратная функция $\omega^{-1}(\varepsilon)$. Из соотношений (9) и (10) выводим $\rho_G(g, g^m) \leq \omega^{-1}\left(\frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M\right)$.

Найдем мажорирующую оценку для $\rho_G(g, g^m)$. Предположим, что функция $\omega^{-1}\left(\frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M\right)$ дважды дифференцируема в нуле, тогда, раскладывая ее в ряд Маклорена, имеем

$$\rho_G(g, g^m) \leq \omega^{-1}\left(\frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M\right) = \frac{1}{2} \varepsilon_m^2 r M \left(\omega^{-1}\left(\frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M\right) \right)' \Big|_{\varepsilon_m=0} + 0(\varepsilon_m^2) = c u^2 + 0(u^2),$$

$$\text{где } c = \frac{1}{2} r M \left(\omega^{-1}\left(\frac{1}{2} r \varepsilon_m^2 M\right) \right)' \Big|_{\varepsilon_m=0}, \quad u = \varepsilon_m.$$

Докажем, что $\forall \alpha > 0 \exists \beta : \forall u < \beta$ выполняется неравенство $cu^2 + 0(u^2) \leq \alpha u$. Доказательство проведем от противного. Пусть для выбранного произвольного α и последовательности $\{u_k\} \rightarrow +0$ справедливо соотношение $\alpha u_k < cu_k^2 + 0(u_k^2)$. Тогда $cu_k^2 > \alpha u_k + 0(u_k^2)$ или $c > \frac{\alpha}{u_k} + \frac{0(u_k^2)}{u_k^2}$. Переходя к пределу, имеем

$$c > \lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{\alpha}{u_k} + \frac{0(u_k^2)}{u_k^2} \right) = \infty,$$

что является противоречием. Следовательно, выбирая $\alpha < 1$, окончательно получаем

$$\rho_G(g, g^m) = \varepsilon_{m+1} \leq \alpha \varepsilon_m \leq \alpha^{m+1} \varepsilon_0.$$

Таким образом, при сделанных предположениях процесс нахождения элемента группы сходится. Однако при реализации на ЭВМ вследствие систематических ошибок, вносимых вычислительной моделью составления и решения системы (4), он сходится лишь к некоторой окрестности точного решения.

Рассмотрим $m+1$ шаг итерации в случае, когда деформации изображений моделируются группой кремоновых преобразований вида

$$B_{t_2}(x_1, x_2) = B_{t_1} \left(\frac{a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3}{a_4 x_1 + a_5 x_2 + a_6}, \frac{a_7 x_1 + a_8 x_2 + a_9}{a_{10} x_1 + a_{11} x_2 + a_{12}} \right).$$

Соотношение (7) при этом принимает вид

$$\begin{aligned} B_{t_2}(x_1, x_2) - B_{t_1}^m(x_1, x_2) = & \frac{\partial B_{t_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_1} \left\{ x_1 b_1 + x_2 b_2 + b_3 - \right. \\ & \frac{x_1 (a_1^m x_1 + a_2^m x_2 + a_3^m)}{(a_4^m x_1 + a_5^m x_2 + a_6^m)^2} b_4 - \frac{x_2 (a_1^m x_1 + a_2^m x_2 + a_3^m)}{(a_4^m x_1 + a_5^m x_2 + a_6^m)^2} b_5 - \\ & \left. - \frac{a_1^m x_1 + a_2^m x_2 + a_3^m}{(a_4^m x_1 + a_5^m x_2 + a_6^m)^2} b_6 \right\} + \frac{\partial B_{t_1}^m(x_1, x_2)}{\partial x_2} \left\{ x_1 b_7 + x_2 b_8 + b_9 - \right. \\ & \frac{x_1 (a_7^m x_1 + a_8^m x_2 + a_9^m)}{(a_{10}^m x_1 + a_{11}^m x_2 + a_{12}^m)^2} b_{10} - \frac{x_2 (a_7^m x_1 + a_8^m x_2 + a_9^m)}{(a_{10}^m x_1 + a_{11}^m x_2 + a_{12}^m)^2} b_{11} - \\ & \left. - \frac{a_7^m x_1 + a_8^m x_2 + a_9^m}{(a_{10}^m x_1 + a_{11}^m x_2 + a_{12}^m)^2} b_{12} \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $B_{t_1}^m(x_1, x_2) = B_{t_1} \left(\frac{a_1^m x_1 + a_2^m x_2 + a_3^m}{a_4^m x_1 + a_5^m x_2 + a_6^m}, \frac{a_7^m x_1 + a_8^m x_2 + a_9^m}{a_{10}^m x_1 + a_{11}^m x_2 + a_{12}^m} \right)$, $b_i = a_i - a_i^m$, a_i^m — решение, полученное на предыдущем шаге, $i =$

= 1, 12. Полагая, что $\{(x_1, x_2) \in D \mid x_1 \in [0, d_1], x_2 \in [0, d_2]\}$, анализируется точка $(x_1^0, x_2^0) \in D$. Чтобы избежать операции численного дифференцирования, вычислим интегралы с переменными верхними пределами от обеих частей равенства (11):

$$\int_0^0 \int_0^0 (B_{t_i}^m(x_1, x_2) - B_{t_i}^m(x_1^0, x_2^0)) dx_2 dx_1 = b_1 \left\{ x_1^0 \int_0^{x_2^0} B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) dx_2 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\} + b_2 \int_0^0 x_2 B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) dx_2 + b_3 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) dx_2 - b_4 \left\{ x_1^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) f_1(x_1^0, x_2) dx_2 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) V_1(x_1, x_2) Z_1(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\} - b_5 \left\{ \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) x_2 f_1(x_1^0, x_2) dx_2 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) x_2 V_2(x_1, x_2) Z_1(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\} - b_6 \left\{ \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1^0, x_2) f_1(x_1^0, x_2) dx_2 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) V_2(x_1, x_2) Z_1(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\} + b_7 \int_0^0 x_1 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) dx_1 + b_8 \left\{ x_2^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) dx_1 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) \times \right. \\ \left. \times dx_2 dx_1 \right\} + b_9 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) dx_1 - b_{10} \left\{ \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) x_1 f_2(x_1, x_2^0) \times \right. \\ \left. \times dx_2 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) x_1 V_3(x_1, x_2) Z_2(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\} - \\ - b_{11} \left\{ x_2^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) f_2(x_1, x_2^0) dx_1 - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) V_4(x_1, x_2) Z_2(x_1, \right. \\ \left. x_2) dx_2 dx_1 \right\} - b_{12} \left\{ \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2^0) f_2(x_1, x_2^0) dx_1 - \right. \\ \left. - \int_0^0 \int_0^0 B_{t_i}^m(x_1, x_2) V_3(x_1, x_2) Z_2(x_1, x_2) dx_2 dx_1 \right\},$$

где

$$f_1(x_1^0, x_2) = (a_1^m x_1^0 + a_2^m x_2 + a_3^m) (a_4^m x_1^0 + a_5^m x_2 + a_6^m)^{-2};$$

$$f_2(x_1, x_2) = (a_7^m x_1 + a_8^m x_2^0 + a_9^m) (a_{10}^m x_1 + a_{11}^m x_2^0 + a_{12}^m)^{-2};$$

$$V_1(x_1, x_2) = a_2^m (a_5^m)^2 x_2^3 + a_4^m (2a_1^m a_5^m - a_2^m a_4^m) x_1^2 x_2 + \\ + 2a_1^m (a_5^m)^2 x_1 x_2^2 + a_4^m (2a_1^m a_6^m - a_3^m a_4^m) x_1^2 + a_5^m (2a_2^m a_6^m + a_3^m a_5^m) x_2^2 + \\ + 4a_1^m a_5^m a_6^m x_1 x_2 + a_6^m (a_2^m a_6^m + 2a_3^m a_4^m) x_1 + 2a_1^m (a_6^m)^2 x_2 + a_3^m (a_6^m)^2;$$

$$V_2(x_1, x_2) = a_6^m (a_1^m a_5^m - 2a_2^m a_4^m) x_2^2 - a_1^m (a_4^m)^2 x_1^2 - 2a_2^m (a_4^m)^2 x_1 x_2 + \\ + 2(a_1^m a_5^m a_6^m - a_3^m a_4^m a_5^m - a_2^m a_4^m a_6^m) x_2 - 2a_3^m (a_4^m)^2 x_1 + \\ + a_6^m (a_1^m a_6^m - 2a_3^m a_4^m);$$

$$V_3(x_1, x_2) = a_{10}^m (a_8^m a_{10}^m - 2a_7^m a_{11}^m) x_1^2 - a_8^m (a_{11}^m)^2 x_2^2 - 2a_7^m (a_{11}^m)^2 x_1 x_2 + \\ + 2(a_8^m a_{10}^m a_{12}^m - a_9^m a_{10}^m a_{11}^m - a_7^m a_{11}^m a_{12}^m) x_1 - 2a_9^m (a_{11}^m)^2 x_2 + \\ + a_{12}^m (a_8^m a_{12}^m - 2a_9^m a_{11}^m); V_4(x_1, x_2) = a_7^m (a_{10}^m)^2 x_1^3 + 2a_8^m (a_{10}^m)^2 x_1^2 x_2 + \\ + a_{11}^m (2a_8^m a_{10}^m - a_7^m a_{11}^m) x_1 x_2^2 + a_{10}^m (2a_7^m a_{12}^m + a_9^m a_{10}^m) x_1^2 + \\ + a_{11}^m (2a_8^m a_{12}^m - a_9^m a_{11}^m) x_2^2 + 4a_8^m a_{10}^m a_{12}^m x_1 x_2 + a_{12}^m (a_7^m a_{12}^m + \\ + 2a_9^m a_{10}^m) x_1 + 2a_8^m (a_{12}^m)^2 x_2 + a_9^m (a_{12}^m)^2;$$

$$Z_1(x_1, x_2) = (a_4^m x_1 + a_5^m x_2 + a_6^m)^{-4}; Z_2(x_1, x_2) = (a_{10}^m x_1 + \\ + a_{11}^m x_2 + a_{12}^m)^{-4}.$$

Сканируя поле зрения D , при помощи соотношений (6) и (12) находим вектор $(b_1, b_2, \dots, b_{12})$, тогда $a_i^{m+1} = a_i^m + b_i$, $i = \overline{1, 12}$.

Кремоновы преобразования имеют в качестве подгрупп проективные, аффинные преобразования. Например, для определения параметров проективной группы необходимо положить $a_{10} = a_4$, $a_{11} = a_5$, $a_{12} = a_6 = 1$.

В заключение отметим, что предложенный метод определения параметров геометрических преобразований изображений путем решения последовательности систем линейных уравнений может также использоваться для уточнения элементов групп, вычисленных иными способами.

Список литературы: 1. Гантмахер Р. Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1967. — 376 с. 2. Ахиезер Н. И. Лекции по теории аппроксимации. — М.: Наука, 1965. — 407 с.

Поступила в редколлегию 23.12.83.

УДК 681. 142.2

Э. М. БУЗНИЦКАЯ, канд. техн. наук, В. А. КУДРЯВЦЕВ

ОБ ОДНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКА ЗАПРОСОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БАЗОЙ ДАННЫХ

Современная система управления базами данных (СУБД) должна быть способна ответить на любой неожиданный запрос, не требуя перестройки структуры данных и не влияя на предыдущие запросы. Она дает возможность пользователям

непрограммистам работать непосредственно с базой данных, т. е. удовлетворять большой процент их потребностей без консультаций с программистом. Отсюда вытекает необходимость развития непроцедурного языка высокого уровня, который позволит неподготовленному пользователю непосредственно и эффективно работать с базой данных. Чтобы удовлетворить свои информационные потребности, пользователь с помощью этого языка формирует СУБД свой запрос. Непроцедурный язык высокого уровня будем называть языком запросов (ЯЗ).

Разработано большое количество языков запросов. Реализация их в конкретной СУБД в значительной степени зависит от используемой в системе модели данных. Существуют три подхода к построению модели [1]: иерархический, сетевой, реляционный. Рассматриваемая СУБД автоматизированной информационно-поисковой системы кадры — табельный учет с использованием дисплеев (АИСКТД) использует иерархическую модель данных. При проектировании и реализации ЯЗ разработчики руководствовались принципом предоставления максимума удобства пользователям системы. Анализ опыта функционирования СУБД различного назначения позволил конкретизировать группы работающих с системой пользователей.

Наиболее приемлемой принято считать систему с четырьмя уровнями пользователей: администратор системы; пользователь — административный работник; программист-прикладник; пользователь-параметрист (например, оператор ЭВМ).

Функции этих типов пользователей хорошо известны в существующей практике. Однако перечень выполняемых ими работ в значительной мере зависит от конкретной СУБД и реализованного в ней языка запросов. В некоторых системах используются несколько языков запросов, каждый из которых ориентирован на определенный уровень пользователей, что ведет к значительному удорожанию стоимости и увеличению сроков ее реализации. Кроме того, пользователям любого уровня свойственно быстрое освоение заложенных в ЯЗ возможностей (для данного уровня). Следствием этого процесса является повышение потребностей пользователей. Неизбежно наступает такой момент, когда для их удовлетворения необходимо выполнить расширение языковых возможностей системы. Большинство наиболее известных СУБД содержат в составе средства расширения возможностей. Однако, как правило, они выполняются на каком-нибудь одном уровне пользователя. Обычно это уровень программиста-прикладника.

Предпринята попытка разработать и реализовать язык запросов, способный удовлетворить запросы различных уровней пользователей и обладающего средствами координированного расширения своих возможностей. Общий вид ЯЗ представляется четырьмя уровнями, каждый из которых соответствует своему уровню пользователей.

Первый уровень (самый низший) состоит из набора элементарных функций, представляющих собой операторы — расширения базового языка программирования *PL/1*, который был использован при реализации АИСКТД. Эти функции используются любой прикладной программой и позволяют программистам модифицировать базу данных и (или) выдавать интересующую его информацию. Возможности имеющихся функций таковы: инициализация файлов базы данных; замена, добавление и удаление элементов данных, а также групп элементов; выдача информации о хранимом определении данных; выдача значений элементов базы данных. При использовании функций низшего уровня должны выдерживаться все спецификации и ограничения, накладываемые конкретной реализацией АИСКТД.

Каждый последующий уровень ЯЗ представляет собой надстройку над возможностями низшего уровня. Поскольку расширение возможной системы выполняется всегда сначала на низшем уровне ЯЗ (путем программирования новых функций), а потом включается в набор операторов высшего уровня, такой подход к реализации ЯЗ оказывается более предпочтительным. При реализации многоуровневого ЯЗ нужно следовать основному требованию: в каждом высшем уровне ЯЗ должны быть предусмотрены средства определения возможностей низшего уровня, причем они должны быть обязательно доступны администратору системы, под руководством которого выполняется расширение возможностей системы.

Второй уровень ЯЗ можно назвать уровнем неподготовленного пользователя. К этому уровню относятся административные работники предприятия — самый главный тип пользователей, для которых и разрабатываются все возможности СУБД. Основное назначение ЯЗ данного уровня — оперативное обеспечение достоверной информации в требуемом пользователями виде. Средства указанного уровня включают операторы поиска и редактирования данных. В некоторых случаях пользователям могут представляться средства манипулирования данными, хотя функционирование подобных систем в нашей стране показывает, что упомянутые выше функции должны быть в ведении администратора системы (или находиться под его наблюдением).

Третий уровень используемого ЯЗ в системе АИСКТД ориентирован на пользователя-параметриста, к которому можно отнести и оператора ЭВМ, работающего с системой в пакетном режиме. Взаимодействие пользователей данного уровня с базой данных состоит в вызове предварительно определенных команд, а также в присваивании значений некоторым их параметрам.

Четвертый уровень ЯЗ ориентирован на администратора системы, несущего ответственность за различные стороны использования базы данных. В первую очередь это относится к ее первоначальному созданию и выполнению в ней любых структур-

ных изменений, в которых может возникнуть необходимость в ходе ее эксплуатации. Средства ЯЗ этого уровня включают набор всех возможностей системы. Сюда включено такое мощное средство, как ограничение языковых возможностей отдельных уровней, что существенно для ограничения несанкционированного доступа к некоторым функциям или данным в разрезе этих функций для некоторых пользователей уровня административных работников, а также перераспределение возможностей системы между уровнями пользователей по усмотрению администратора системы. Работа с указанными средствами осуществляется как на стадии предкомпиляции компонентов системы АИСКТД, так и на стадии выполнения системой запрошенных пользователем функций. Подготовка информации и выполнение процесса предкомпиляции достаточно изучены в литературе и зависят от реализации конкретной версии СУБД.

Поэтому в данной работе такие вопросы не рассматриваются.

Грамматика ЯЗ описана с помощью бэкусовской нормальной формы и представлена в таблице. Структура таблицы определена логической последовательностью алгоритма компиляции.

С семантической точки зрения ЯЗ соответствует подмножеству языка исчисления предикатов, что позволяет строить поисковые предписания любой логической сложности [2].

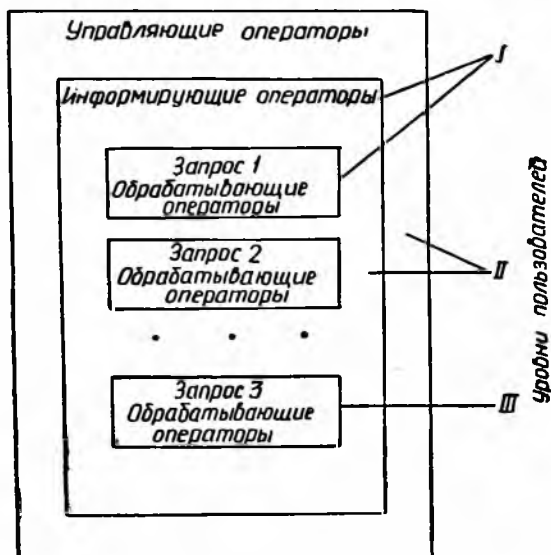
Операторы ЯЗ разбиты на три типа: управляющие, информирующие, обрабатывающие.

С помощью управляющих операторов системы сообщается вся необходимая информация для настройки системы на выполнение той или иной функции. Операторы этого типа используются администратором системы в диалоговом режиме для составления и отладки запросов по плановой статистической отчетности. После отладки эти запросы помещаются в специальную библиотеку запросов. При пакетной обработке группа операторов может использоваться пользователем — оператором ЭВМ с привлечением средств языка управления заданиями.

Информирующие операторы служат для связывания пользователей с конкретными файлами базы данных (через хранимые в системе описания данных), а также описывают информацию уточняющую внешний вид и особенности печати отчетов, запрашиваемых пользователями. С помощью операторов данной группы пользователь может задавать формат печатаемого отчета, размер листа, управлять печатью верхней шапки, подписями, начинать печатать с любого листа, задавать количество печатаемых листов, задавать условия печати информации верхней шапке отчета и т. п.

Основной массе пользователей-непрограммистов иногда необходимо знать и использовать возможности указанных группы операторов. Система имеет средства задания эти операторов на более высоком уровне пользователей. В основ

средств положен принцип умолчания. Администратор системы может сгенерировать любую версию системы с заданием стандартного значения конкретному информирующему оператору. Если в процессе диалога пользователя с системой в обрабатываемом запросе будет отсутствовать один из требуемых по контексту информирующих операторов, то его значение будет принято по умолчанию (оно будет равно значению, установленному при генерации). Если же информирующий



оператор не задан ни при генерации, ни в самом запросе, то система выдаст пользователю требование на его задание.

Кроме перечисленных выше возможностей информирующие операторы могут задаваться на уровне оператора ЭВМ. Тогда они устанавливают значения этим операторам только на время данного вызова системы (переопределению могут подлежать и значения операторов, установленные при генерации системы).

На рисунке показана область действия значений информирующих операторов и указаны уровни пользователей, на которых они устанавливаются: **I** — уровень администратора системы (область действия — до следующей регенерации); **2** — уровень оператора ЭВМ (область действия — время выполнения шага задания, в котором вызвана система АИСКТД); **3** — уровень пользователя-административного работника (область действия — один запрос).

Обрабатывающие операторы задают условия отбора информации при выполнении указанной пользователем функции. Они

описывают также форму и основные характеристики выходных данных при построении отчетов. Эта группа операторов — основное средство общения с системой пользователей — административных работников подразделений предприятия. Структура и формат этих операторов подбирались с особой тщательностью, что позволяет пользователям данного уровня легко и быстро составлять запросы на получение достаточно сложных отчетов.

При таком подходе к распределению языковых возможностей системы АИСКТД основной контингент пользователей-непрограммистов при составлении запроса акцентирует свое внимание на содержательной стороне описания требуемого отчета. Задание оформительской части описания отчета перекладывается либо на систему (по принципу умолчания), либо на высшие уровни пользователей.

Использованный в системе подход к реализации ЯЗ позволяет в минимально возможный срок пользователям основного уровня освоить возможности системы АИСКТД.

В ходе накопления пользователями опыта работы с системой можно выполнять перераспределение средств использования возможностей ЯЗ между уровнями пользователей.

В разработанной системе АИСКТД применяются специальные средства ограничения доступа как к самим данным БД, так и к языковым возможностям системы. Поэтому администратором системы ведется специальный файл обеспечения доступа, где для каждого конкретного пользователя указываются доступные для него режимы функционирования (что соответствует заданию тех или иных операторов ЯЗ), файлы и данные. Поскольку связь с системой устанавливается посредством задания пользователем своего индивидуального кода, система автоматически способна на основании информации указанного выше файла сформулировать управляющие и информирующие операторы.

В процессе функционирования системы в файл обеспечения доступа можно добавлять новых пользователей или модифицировать информацию по имеющимся в нем пользователям, сужая или расширяя область их доступа.

В целях более удобного взаимодействия пользователей с системой для каждого уровня пользователей используется своя форма записи запроса.

Язык уровня пользователя-оператора ЭВМ представляется в форме ключевых слов или в форме разделителей.

Пользователи уровней администратора системы и административных работников используют форму фиксированных позиций. При составлении запросов по такой форме каждый элемент языка появляется в фиксированной позиции входного носителя запроса. Поскольку основной тип пользователей системы — административные работники предприятия, которые привыкли в повседневной работе заполнять и обрабатывать печатные фор-

№№ п/п	Грамматика языка запросов
40	управляющий—оператор : : = оператор—ЗАПРОС оператор—RETCN
41	оператор—ЗАПРОС : : = ЗАПРОС = имя—запроса
42	имя—запроса : : = идентификатор
43	оператор—RETCN : : = RETCN = { ФОРМ , А ДОЗАП , А ОБНОВ , А ВЕДОМ СПИСОК , { S T } { A } РЕСТР КОЛИЧ СОРТ }
44	информирующий—оператор : : = оператор—TIRM оператор—LIST оператор—NLIST оператор—CONTR оператор—SORTK оператор— SHAP оператор—NSHAP оператор—KONSH оператор—KEVR опе- ратор—NREP оператор—ARXIB оператор—MDOZAP оператор— ЗАГЛАВИЕ оператор—КОНЦОВКА оператор—KLIST
45	оператор—TIRM : : = TIRM = номер—файла , V
46	номер—файла : : = десятичная—цифра
47	оператор—LIST : : = LIST = размер—листа
48	размер—листа : : = целое—десятичное—число
49	оператор—NLIST : : = NLIST = номер—листа
50	номер—листа : : = целое—десятичное—число
51	оператор—CONTR : : = CONTR = имя—элемента—данного
52	оператор—SORTK : : = SORTK = ДА НЕТ
53	оператор—SHAP : : = SHAP = СТАНД НЕСТД
54	оператор—NSHAP : : = NSHAP = ПК ПМ ЛВ
55	оператор—KONSH : : = KONSH = ДА
56	оператор—KEVR : : = KEVR = ДА
57	оператор—NREP : : = NREP = НЕТ
58	оператор—ARXIB : : = ARXIB = ДА , { S T } { A }
59	оператор—MDOZAP : : = MDOZAP = номер—массива—дозаписи , длина—блока—массива
60	номер—массива—дозаписи : : = 1 2 3 4 5 6
61	длина—блока—массива : : = целое—десятичное—число
62	оператор—ЗАГЛАВИЕ : : = ЗАГЛАВИЕ = литерал—заглавия
63	оператор—КОНЦОВКА : : = КОНЦОВКА = литерал—концовки
64	оператор—KLIST : : = KLIST = целое—десятичное—число
65	обработывающий—оператор : : = оператор—отбора—записей опера- тор—построения—граф оператор—построения—строки
66	оператор—ШП : : = ШП : выражение
67	оператор—отбора—записей : : = оператор—ШП оператор—УО опе- ратор—УИ оператор—УД оператор—УУ
68	оператор—УО : : = УО : выражение [выражение ...]
69	оператор—УИ : : = УИ : выражение ; имя—элемента—данного = кон- станта [{ имя—элемента—данного = константа } ...]
70	оператор—УД : : = УД : выражение
71	оператор—УУ : : = УУ : выражение
72	оператор—построения—граф : : = ОГ : ТЕКСТ = целое—десятичное- число условие—формирования—графы { * КОЛ } { (условие—фор- мирования—графы { * КОЛ }) ... }
73	условие—формирования—графы : : = имя—элемента—данного = = { X K + выражение идентификатор }
74	оператор—построения—строки : : = номер—строки—отчета : { выра- жение КОЛ ТЕКСТ = строковая—константа [{ ТЕКСТ = строко- вая—константа } ...]
75	номер—строки—отчета : : = целое—десятичное—число
76	библиотечный—запрос : : = оператор—ЗАПРОС запрос [КЗК описа- ние—верхней—шапки КЗП]

№№ п/п	Грамматика языка запроса
77	запрос ::= управляющий—оператор ... [информирующий—оператор ...] [обработывающий—оператор ...]
78	описание—верхней—шапки ::= [{ H строка—описания—шапки [K строка—описания—шапки] ... } H описание—разделителей—граф [K описание—разделителей—граф]
79	строка—описания—шапки ::= [символ ...] [символ ...] [' имя—элемента—данного '] [символ ...]
80	описание—разделителей—граф ::= [[символ ...] разделитель—графы [{ [символ ...] разделитель—графы [символ ...] } ...] разделитель—графы [символ ...]
81	разделитель—графы ::= !
82	отчет ::= итоговый—блок заглавный—блок верхняя—шапка тело—отчета итоговый—блок
83	итоговыи—блок ::= линия—интервала итоговая—линия литерал—концовка
84	итоговая—линия ::= ИТОГО ПО ПРЕДПРИЯТИЮ целое—десятичное—число
85	заглавный—блок ::= штриховая—линия линия—интервала линия—заглавия линия—дата—лист
86	штриховая—линия ::= — ...
87	линия—интервала ::= [символ ...]
88	линия—заглавия ::= КОД ЗАПРОСА имя—запроса литерал—заглавия
89	литерал—заглавия ::= строковая—константа
90	литерал—концовки ::= строковая—константа
91	линия—дата—лист ::= ДАТА число—года. месяц—года. год [символ ...] ЛИСТ номер—листа [символ ...]
92	верхняя—шапка ::= штриховая—линия—шапки тело—верхней—шапки штриховая—линия—шапки
93	штриховая—линия—шапки ::= [символ ...] — ... [символ ...]
94	тело—верхней—шапки ::= системная—шапка шапка—пользователя
95	системная—шапка ::= разделитель—графы шапка—графы [{ разделитель—графы шапка—графы } ...] разделитель—графы
96	шапка—графы ::= строка—графы—шапки—1 строка—графы—шапки—2 строки—графы—шапки—3
97	строка—графы—шапки—1 ::= [символ ...] [символ ...] КОД [символ ...] [символ ...] СУММА ПО [символ ...] [символ ...] КОЛ-ВО [символ ...]
98	строка—графы—шапки—2 ::= [символ ...] ТЕКСТ [символ ...] [символ ...] ЭЛЕМЕНТА [символ ...] [символ ...] УСЛОВИЮ [символ ...]
99	строка—графы—шапки—3 ::= [символ ...] [символ ...] имя—элемента—данного [символ ...] [символ ...] диапазон—строк—условия [символ ...]
100	диапазон—строк—условия ::= целое—десятичное—число—целое—десятичное—число
101	шапка—пользователя ::= [строка—шапки ...] строка—разделителей—граф
102	строки—шапки ::= [символ ...] [символ ...] [значение—элемента—данного] [символ ...]
103	значение—элемента—данного ::= буквенно—цифровой—символ ...
104	строка—разделителей—граф ::= [символ ...] разделитель—графы [{ [символ ...] разделитель—графы [символ ...] } ...] разделитель—графы [символ ...]
105	тело—отчета ::= линия—интервала ... [информационная—строка] ... [текстовая—строка] ... [итоговая—строка] ... [линия интервала] ...

№№ п/п	Грамматический язык запросов
106	информационная—строка . . = { [] . . . } значение—графы { { [] [] . . . } значение—графы } . . . } [] . . . }
107	значение—графы : : = буквенно—цифровой—символ . .
108	текстовая—строка : : = [] . . . } символ . . . [] . . . }
109	итоговая—строка : : = [] . . . } значение—итога { { [] [] . . . } значение—итога } . . . } [] . . . }
110	значение—итога : : = целое—десятичное—число
111	число—года . . = целое—десятичное—число
112	месяц—года . . = целое—десятичное—число
113	год : : = целое—десятичное—число

мы документов, была выбрана форма фиксированных позиций, для которой разработан печатный бланк.

Результаты практического использования системы показывают большую эффективность языка запросов. В течение короткого времени пользователи-непрограммисты осваивают все возможности языковых средств. Использование пакетного и диалогового режима обработки запросов повышает удобство эксплуатации системы (см. таблицу).

Список литературы: 1. *Мартин Дж.* Организация баз данных в вычислительных системах. — М.: Мир, 1980. — 662 с. 2. *Котов Р. Г., Якушин Б. В.* Языки информационных систем. — М.: Наука, 1979. — 304 с. 3. *Овчаров Л. А., Селетков С. Н.* Автоматизированные банки данных. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 262 с.

Поступила в редколлегию 15.08.83.

УДК 62.506.2

В. Я. ТЕРЗИАН

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ В СИСТЕМАХ ОБЩЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ЭВМ.

Сообщение 1

В статье описан возможный подход к организации анализа естественно-языковых высказываний в диалоговой системе, предполагающий параллельное использование процедур морфологического, синтаксического, семантического, прагматического и информационного анализов при ведущей роли процедур семантического анализа.

Существующие подходы к анализу определяются в основном спецификой создания моделей языка, а не моделей общения. Большинство исследователей «интересуются созданием модели языка, а не модели общения» [1], хотя решение проблемы общения пользователей с ЭВМ на естественном языке актуально

и может существенно расширить круг пользователей ЭВМ, сферы применения вычислительных машин, сократить затраты на программирование и т. д.

Анализ существующих в нашей стране и за рубежом моделей и систем, произведенный с упором на используемые в них подходы к организации анализа входных естественно-языковых сообщений, позволяет сделать следующие выводы.

Конечная цель анализа в системах сводится к выражению смысла входного сообщения в терминах внутреннего представления системы; анализ рассматривается как независимый этап общего процесса работы диалоговой системы, и конкретные задачи общения и цели участников общения не накладывают отпечаток на организацию анализа; организация традиционно предполагает последовательное выполнение трех основных этапов: морфологического анализа, синтаксического анализа и семантического анализа, причем переход к каждому последующему этапу осуществляется только после полного окончания анализа на предыдущем этапе.

Возникновение неоднозначности на каком-либо этапе анализа ведет к нескольким вариантам представления сообщения на данном этапе, что приводит к увеличению в соответствующее число раз времени анализа на последующем этапе; способности таких систем к анализу, выводу, умозаключениям не зависят от накопленного ими опыта общения с пользователем, а определяются степенью полноты априорного задания соответствующих лингвистических знаний, правил вывода, специально запрограммированных типов умозаключений и т. д.; системы способны анализировать сообщения, относящиеся к одной или в крайнем случае нескольким предметным областям, характеризуемым сравнительно небольшим количеством терминов. Для перенастройки таких систем на новую предметную область требуются существенные изменения в их программном обеспечении.

В некоторых системах стараются полностью обойтись без использования процедур морфологии или синтаксиса или семантики, что не может не сказаться на качестве анализа; почти все системы заходят в тупик при анализе запросов, в которых допущены даже несущественные ошибки; в наиболее глубоко разработанных системах, построенных на базе модели концептуальной зависимости, отсутствует возможность вести связный диалог с пользователем. В них также отсутствуют средства для работы с большим объемом информации, который требуется для решения реальных практических задач.

Перечислим трудности, возникающие перед анализом входных сообщений в рассмотренных системах: подсистемы анализа разрабатываются, как правило, изолировано и даже хорошая работа в отдельности процедур морфологического, синтаксического и семантического анализов не означает нормальную работу системы анализа в целом; внутреннее представление для входного сообщения производится без использования знаний системы о внешнем мире, о целях участников общения, которые применяются после получения указанного представления; процедуры лингвистического препроцессора системы и процедуры центрального лингвистического процессора употребляются независимо друг от друга.

В качестве задачи исследования мы ставим разработку такой организации анализа в диалоговой естественно-языковой системе, которая удовлетворяла бы следующим требованиям.

Конечный результат анализа при данной организации — определение необходимой реакции системы на входное сообщение. При этом если необходимая реакция определена раньше, чем завершено выражение смысла входного сообщения в терминах внутреннего представления, анализ сообщения на этом заканчивается.

Организации анализа необходимо предполагать использование знаний системы о задачах общения и целях участников общения для упрощения и ускорения процесса анализа.

Анализ должен опираться на знания системы о внешнем мире, а данная организация анализа предполагает выполнение функций не только лингвистического препроцессора, но и центрального лингвистического процессора.

Организации анализа нужно предполагать взаимодействие процессов морфологии, синтаксиса и семантики, позволяющее немедленно разрешать возникающие неоднозначности в процессе анализа.

Необходимо, чтобы способности системы к анализу, выводу и умозаключениям совершенствовались по мере накопления системой опыта общения с пользователями.

Собственно лингвистические знания системы, используемые при анализе, должны формироваться на естественном языке, а также пополняться и корректироваться в процессе общения с пользователем.

Процедуры анализа требуется настроить на работу в рамках любой предметной области.

Система должна уметь осуществлять анализ сообщений, в которых допущены ошибки, если данная аномальность не влияет на выбор необходимой реакции на входное сообщение.

Системе нужно иметь средства, позволяющие анализировать предложения с анафорическими ссылками и эллиптическими конструкциями, необходимые для ведения связного диалога с пользователем.

Способ разбиения всего процесса анализа на этапы должен обеспечивать максимально быстрое решение конечной задачи анализа и возможное досрочное его завершение.

Для организации анализа необходимо предполагать попытку извлечь максимум информации для решения конечной задачи анализа, находясь на более низком его уровне, и только после этого переходить к более высокому уровню.

Анализ должен подготовить всю необходимую информацию для синтеза выходного сообщения или программного действия.

Поскольку данная работа посвящена вопросам моделирования естественно-языковых систем общения, предлагаемые принципы анализа будут касаться речевого, а не языкового общения. Речевое общение — это сложный и многосторонний активный процесс, все участники которого активны, т. е. занимают активную ответную позицию. Поэтому в качестве един-

цы речевого общения не может быть принято предложение, которое, будучи единицей языка, не имеет автора, а без знания целей последнего невозможно определить нужную ответную позицию. В качестве единицы речевого общения рассмотрим естественно-языковое высказывание (ЕЯВ).

Определение 1. ЕЯВ — это единица письменного речевого общения, границы которого определяются сменой субъектов речи, и определяющий критерий завершенности которого — возможность занять в отношении его активную ответную позицию.

Определение 2. ЕЯВ называется утвердительным, если оно несет новую и необходимую для данного адресата информацию и реакцией на которое является добавление адресатом новых фактов к своим знаниям, или коррекция старых фактов под воздействием новых.

Определение 3. ЕЯВ называется вопросительным, если посредством его автор запрашивает необходимую и новую информацию для себя и реакция на которое со стороны адресата — ответное высказывание при условии, что ответ на данный запрос в интересах адресата.

Определение 4. ЕЯВ называется повелительным, если в нем содержится запрос автора на некоторое действие со стороны адресата в интересах автора, и ответ на этот запрос — некоторое действие со стороны адресата, если оно в его интересах.

Все остальные ЕЯВ будем считать не имеющими смысла для данных участников диалога. Одно и то же ЕЯВ может не иметь смысла для одних субъектов речи, однако иметь смысл для других. Грамматически ошибочное ЕЯВ будет иметь смысл и, следовательно, будет понятно адресату, если данная неправильность не повлияет на выбор ответной реакции. Другими словами, нельзя говорить о неправильности некоторого предложения, не рассматривая его в контексте целого высказывания, поскольку само по себе предложение не связано ни с говорящим, ни с внеязыковой действительностью. Поэтому правильным или неправильным может быть только ЕЯВ.

Рассмотрим принципы организации анализа ЕЯВ в диалоговой естественно-языковой системе общения.

Анализ входного ЕЯВ предлагается разбить на ряд последовательных этапов, на каждом из которых делается попытка решить конечную задачу анализа. На этапе предварительной обработки каждой словоформе входного ЕЯВ ставится в соответствие морфолого-синтаксическая информация (МСИ) при помощи ТВ-структуры [2], причем словоформа может получить один, несколько или вообще ни одного варианта МСИ. На первом этапе анализа входного ЕЯВ (экспресс-анализ) из его словоформ выбираются по МСИ главные члены — подлежащее и сказуемое — и осуществляется их анализ. Каждый после-

дующий этап есть добавление по определенным правилам очередной словоформы ЕЯВ к результату, полученному на предыдущем этапе, и анализ возможных вариантов согласования данной словоформы с проанализированными. Каждый новый этап обеспечивает все более полное понимание системой входного ЕЯВ, и на некотором из этапов возможно полное решение поставленной данным ЕЯВ естественно-языковой задачи. Это происходит потому, что на каждом из этапов осуществляется полное представление смысла текущего фрагмента ЕЯВ в базовых терминах и сопоставление данного представления со знаниями системы о внешнем мире, о целях участников общения с результатами проанализированных ЕЯВ, относящихся к данному диалогу. Важной является задача определения последовательности выбора словоформ ЕЯВ для максимально быстрого завершения процесса анализа. То есть для каждого последующего этапа анализа необходимо выбрать наиболее «информативную» словоформу из числа оставшихся. Для первого этапа выбираются подлежащее и сказуемое, которые мы будем считать наиболее информативными. Чтобы решить данную задачу на последующих этапах, используется аппарат валентностей. Таким образом, в общем случае анализ при указанном подходе будет завершаться быстрее, чем в традиционных системах, где морфологическому, синтаксическому и другим видам анализа подвергаются все словоформы входного сообщения. Этот подход обеспечит более быстрое решение задач анализа по сравнению с подходом, использующим идею пословного анализа входного сообщения, начиная с первой и кончая последней словоформой в обычной последовательности [3], так как наиболее существенная часть сообщения может находиться в его конце. Следовательно, сообщение не сможет быть понято, пока анализатор не дойдет до нее.

На каждом из этапов анализ разбивается на два подэтапа: собственно анализ, или получение представления смысла в базовых терминах, и понимание, т. е. сопоставление данного представления со знаниями системы.

Процесс собственно анализа рассматривается на трех уровнях, название и содержание которых отражают взаимодействие процессов различных видов анализа. Уровни собственного анализа: морфолого-синтаксический уровень (МСУ), синтаксико-семантический уровень (ССУ), сематико-прагматический уровень (СПУ). Охарактеризуем каждый из них.

На МСУ определяется синтагматическая связь текущей словоформы с одной из словоформ входного сообщения и, если синтагматическая пара определяется однозначно, составляется синтактико-семантическое отношение (ССО) [2]. Оно сразу же поступает на уровне подэтапа понимания, минуя ССУ и СПУ

анализа, а в случае возникновения многозначности «претенденты» на ССО поступают на ССУ анализа.

На ССУ из набора синтагматических пар по определенным правилам выбираются те, которые соответствуют некоторым ССО из базы знаний системы. Если пара выбирается однозначно, то составляется ССО, которое сразу же поступает на уровне собственно понимания, минуя СПУ анализа. Причем задача понимания уже частично решена на ССУ. Если многозначность сохраняется, то данные пары поступают на СПУ анализа.

На СПУ из набора синтагматических пар с помощью семантико-прагматических знаний системы выбирается та, которая является допустимой в данной ситуации и соответствует предметной области диалога. Сохранение многозначности означает возможность многозначного толкования входного ЕЯВ. Для полученной в результате анализа на СПУ пары составляется ССО, которое поступает на уровне понимания.

Процесс понимания также рассматривается на трех уровнях: информационно-синтаксическом (ИСУ), информационно-семантическом (ИСМУ), информационно-прагматическом (ИПУ). Охарактеризуем каждый из них на примере анализа утвердительного ЕЯВ.

На ИСУ понимания текущее ССО отыскивается в базе знаний системы в явном виде или при необходимости в виде, преобразованном процедурами вывода. Находится пересечение соответствующего ему множества фактов с множеством, полученным на предыдущем этапе анализа. Если пересечение оказывается пустым, то к работе подключаются процедуры формирования умозаключений, которые осуществляют попытку привязать текущее ССО к какому-нибудь факту из указанного множества. Если данная попытка не приводит к успеху, то ССО считается новым, а система переходит к следующему этапу анализа. В случае, если пересечение содержит несколько фактов, осуществляется переход к следующему уровню понимания.

На ИСМУ понимания из данного множества фактов по определенным правилам выбираются те, которые имеют или могут иметь место в данный момент времени и в данной ситуации. Если в результате получается пустое множество фактов, то делаем вывод: факт, задаваемый входным ЕЯВ, выполняется в последующий момент времени, т. е. появились новые «действующие лица», имеющие аналогичные названия с объектами или субъектами фактов базы знаний. В случае, если результат содержит несколько фактов, осуществляется переход к следующему уровню понимания.

На ИПУ понимания делаем вывод о том, к какой предметной области относится информация, задаваемая входным ЕЯВ, если он не был сделан на предыдущем этапе. В случае, если указанный вывод сделан, из данного множества фактов

выбираются те, которые имеют прагматическую ценность в данной предметной области для участников диалога. Если упомянутых выше фактов нет, то анализ ЕЯВ на этом заканчивается, поскольку высказывание не несет полезной для адресата информации. Если результат содержит несколько фактов, то возможны такие случаи: реакция системы на все факты должна быть одинакова; реакция системы может быть различной. В первом случае анализ ЕЯВ завершается и система соответствующим образом реагирует на него, во втором — осуществляется переход к следующему этапу анализа.

При такой организации анализа каждый текущий его этап значительно сужает сферу поиска на последующих этапах, что существенно ускоряет сходимость процесса анализа.

Таким образом, данная организация предполагает взаимодействие процедур различных видов анализа. Сложное взаимодействие должно управляться специальными метапроцедурами. Будем считать основной задачей семантического анализа (СА) в диалоговой системе осуществление управления процедурами различных видов анализа, обеспечивающее максимально быстрое решение конечной задачи анализа.

Помимо специализированных процедур СА, решающих локальные задачи на ССУ, СПУ, ИСМУ, ИПУ анализа, организация анализа предполагает работу метапроцедур СА, управляющих процессом анализа на всех его этапах и уровнях. Таким образом, процесс анализа ЕЯВ можно рассматривать на некотором этапе как СА на МСУ, ССУ, СПУ, ИСУ, ИСМУ и ИПУ.

Метапроцедуры СА предполагают способность извлекать из базы знаний системы и работать с различного типа валентностями, использовать процедуры вывода различных классов, а также процедуры формирования различных типов умозаключений.

Определение 5. Валентностью согласования или нулевого уровня данной словоформы будем называть множество наборов морфолого-синтаксической информации (МСИ) [2], которые грамматически согласуются с МСИ данной словоформы.

Валентности согласования могут быть заданы системе априорно в форме процедурных знаний, а также в более гибкой форме с помощью некоторой структуры, хранимой в памяти системы, способной расширяться по мере накопления системой опыта. В любом случае работа с данной валентностью требует наименьших затрат времени.

Определение 6. Морфолого-синтаксической валентностью данной словоформы будем называть множество наборов МСИ, представляющих собой имена ССО, в которые данная словоформа входит слева от знака равенства.

Морфолого-синтаксическая валентность извлекается из ба-

зы знаний системы с помощью процедур работы с С-структурой [2] и целиком зависит от накопленных системой знаний о внешнем мире. Организация их хранения с помощью С-структуры очень удобна для быстрого извлечения данной валентности.

Определение 7. Синтактико-семантической валентностью данной словоформы будем называть множество словоформ, которые входят справа от знака равенства в те ССО, где данная словоформа расположена слева от знака равенства.

Определение 8. Семантико-прагматической валентностью данной словоформы будем называть подмножество синтактико-семантической валентности, полученное из ССО, которые участвуют в фактах базы знаний, имеющих место в данный момент времени.

Этот тип валентности предполагает более сложную процедуру извлечения из базы знаний, использующую временные маркеры и семантико-прагматическое отношение «условия» [2].

Определение 9. Семантико-информационной валентностью данной словоформы будем называть подмножество синтактико-семантической валентности, полученное из ССО, относящихся к данной предметной области.

Этот тип валентности предполагает определение в процессе анализа темы диалога, целей пользователя и их последующее использование.

Определение 10. Прагматико-информационной валентностью данной словоформы или ее смыслом будем называть множество словоформ, полученное в результате пересечения семантико-прагматической и семантико-информационной валентностей данной словоформы.

Таким образом, смысл некоторой словоформы нельзя рассматривать изолированно от конкретной предметной области, от конкретной ситуации в текущий момент времени, от конкретных участников общения.

С увеличением уровня валентности усложняется и работа с ней. Поэтому предлагаемая организация анализа предусматривает попытку проанализировать входное ЕЯВ, используя валентности низших уровней.

Только в случае возникновения неоднозначности привлекаются валентности более высоких уровней.

Процедуры вывода используются в данной организации анализа для понимания, если в этом возникает необходимость, незнакомых ССО, словосочетаний, фактов. Их задача — преобразование данного ССО, словосочетания, факта при помощи хранящихся в памяти системы семантико-прагматических отношений к виду, позволяющему связать их с ССО, словосочетаниями, фактами базы знаний системы.

Определение 11. Умозаключением из входного ЕЯВ будем называть отсутствующий в данном ЕЯВ и в базе знаний системы ответ на любой вопрос, поставленный к любой словоформе ЕЯВ и принадлежащий ее валентности, а также на вопрос о возможной семантико-прагматической связи факта, о котором сообщается в данном ЕЯВ, с другими фактами.

Тип умозаключения определяется уровнем валентности, в соответствии с которой в текущий момент осуществляется анализ. Количество и качество формируемых умозаключений зависит от уровня накопленных системой знаний. Необходимость формирования умозаключений не вносится в систему извне в виде особого режима, как, например, в работе [3], а вызывается конкретными ситуациями, возникающими при анализе.

Список литературы: 1. *Попов Э. В.* Общение с ЭВМ на естественном языке.— М.: Наука, 1982.— 360 с. 2. *Ловицкий В. А.* Диалоговая естественноречевая система принятия решений.— Харьков: ХПИ, 1981.— 110 с. 3. *Шенк Р.* Обработка концептуальной информации.— М.: Энергия, 1980.— 358 с.

Поступила в редколлегию 15.08.83.

УДК 62.506.2

М. С. БЛЕХМАН А. А. ЗАХАРОВ

УСТАНОВЛЕНИЕ СВЕРХФРАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДИКАТОВ

Проблема построения формальных процедур определения структуры текста на естественном языке на сверхфразовом уровне имеет прикладное и определенное теоретическое значение. Прикладное значение вытекает из необходимости компрессии (реферирования) текстов на естественных языках для хранения и переработки в больших информационных системах [1]. С теоретической точки зрения построение указанных моделей — шаг на пути к пониманию текста на естественном языке машиной, что создает дополнительные возможности для экспериментальной проверки различных гипотез относительно способов выявления связи между фразами текста на естественном языке. Почти все гипотезы верны только приблизительно, и их проверка заключается в констатации факта истинности в каждом конкретном случае и в подсчете соотношения числа данных фактов, т. е. своего рода вероятности истинности гипотезы. Это требует проведения анализа большого числа текстов на ЭВМ. Возникает ситуация, когда для проверки каждой выдвинутой гипотезы нужно составлять специальную программу предпочтительно на языках низкого уровня типа Ассемблера. Ввиду сложности программирования такой

анализ трудно осуществить. Однако можно создать высокоспециализированный язык, позволяющий быстро строить эффективно работающие программы. Это достигается разработкой системы базовых логических функций и соответствующих операторов языка.

Рассмотрим текст как упорядоченное множество (T) слов, разбитое на непересекающиеся подмножества — фразы. Под словами будем понимать также устойчивые словосочетания (лексические единицы). В этом случае элементы словосочетаний словами не считаются.

Слова x, y назовем эквивалентными ($x \sim y$), если они либо совпадают посимвольно, либо представляют собой варианты одной лексемы (словоформы), либо являются синонимами или иным образом совпадают по смыслу, что устанавливается с помощью тезауруса. Введем на множестве слов текста предикат эквивалентности:

$$s(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \sim y; \\ 0, & \text{если } x \not\sim y. \end{cases}$$

На множестве слов текста естественным образом найдем позиционную функцию $P(x)$ и функцию $p_{\kappa}(x)$ такую, что $p_{\kappa}(x) = 0$, если $x \notin T_{\kappa}$ (здесь T_{κ} — κ -я фраза текста), а при $x \in T_{\kappa}$ $p_{\kappa}(x)$ равна порядковому номеру слова x в фразе T_{κ} , причем имеет место рекуррентное соотношение:

$$p_{\kappa}(x) = P(x) - \sum_{i=0}^{\kappa-1} \max_{y \in T} p_i y.$$

Используя позиционную функцию $p_{\kappa}(x)$, получим на множестве $N \times N \times T$, где N — отрезок натурального ряда, размерности большей, чем максимально возможное число слов в тексте, предикат

$$p(n, k, x) = \begin{cases} 1 & \text{— при } p_{\kappa}(x) \leq n - 1; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

На множестве $N \times N \times T \times T$ имеем предикат, характеризующий взаимное расположение слов:

$$M(i, k, x, y) = \begin{cases} 1 & \text{— при } 0 < p_i(y) - p_i(x) \leq k; \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

Далее, пусть R, F — определенные множества слов. Пусть задано разбиение этих множеств на конечное число непересекающихся подмножеств $R = UR_i; F = UF_i$. Пусть, далее, на множестве $\{R_i \times F_j\}$ определено некоторое отношение связи f . Построим матрицу, строки которой соответствуют подмножествам R_i , а столбцы — подмножествам F_j . Элемент a_{ij} этой матрицы равен 1, если отношение связи $R_i f F_j$ определено, и 0 — в противном случае.

$$\text{Определим предикат } a(x, y) = \begin{cases} a_{ij}, & \text{если } x \in R_i, y \in F_j; \\ 0, & \text{если } x \notin R \text{ или } y \notin F. \end{cases}$$

Введенная система предикатов s, p, M, α имеет довольно широкие возможности для формального представления различных процедур установления сверхфразовых связей и может рассматриваться как основа соответствующей системы программно-языковых средств.

Примером может служить процедура установления связи между фразами на основе определения наличия в них эквивалентных слов. Для удобства введем обозначение $S(x, Q) = Vs(x, y)$.

Обозначим также i -ю и k -ю фразы текста соответственно T_i, T_k . Тогда условие наличия указанной связи может быть записано так: $S(x, T_i) S(y, T_k) S(x, y) = 1$ (1), здесь и далее знак конъюнкции опускается. В случае, когда такое условие проверяется только для слов, принадлежащих фиксированному множеству Q (например, ключевых слов) и стоящих в своих фразах не далее n -й позиции, записывается как

$$s(x, y) S(x, T_i) S(y, T_k) S(x, Q) S(y, Q) p(n, i, x) p(n, k, y) = 1. \quad (2)$$

Рассмотрим более сложную процедуру установления связи между фразами на основе известной лингвистической гипотезы о связующей роли индикаторов или коннекторов [2]. Ее сущность в том, что появление во фразе определенных слов и словосочетаний свидетельствует о возможной связи данной фразы с какой-то другой, как правило, предыдущей фразой текста. Само по себе обнаружение коннекторов не является достаточным условием наличия такой связи, поэтому для каждого коннектора существуют процедуры установления его истинности, т. е. его действительной связующей роли.

Для английских текстов одна из основных указанных процедур заключается в следующем [3]. Справа от коннектора, но не далее определенного расстояния, ищется слово, принадлежащее множеству правых границ именных групп [4]. Если такая правая граница найдена, то стоящему непосредственно перед ней слову N ищется антецедент (A) — эквивалентное слово; сначала — в этой же фразе, затем — в предыдущих, но только в тех, где ранее были обнаружены истинные коннекторы. При отсутствии антецедента N должно быть «словом общего значения». Обнаружение антецедента в той же фразе, что и коннектор, свидетельствует о ложности коннектора. Если антецедент A найден, слева от него должно находиться слово, принадлежащее множеству левых границ именных групп. Множество слов между коннектором и N назовем N -зависимыми, а между левой границей и антецедентом, A -зависимыми. Тогда, если каждое N -зависимое имеет эквивалентное среди A -зависимых, коннектор считается истинным и устанавливается связь между фразой коннектора и фразой антецедента. Если среди N -зависимых есть «лишние», не имеющие эквивалентов среди A -зависимых, то коннектор — истинный только при условии их принадлежности множеству «слабых зависимых» слов. В противном случае образуется новое множество A -зави.

симых из слов, находящихся правее антецедента, и левее слова, принадлежащего множеству «правых границ», и процедура сравнения A -зависимых с N -зависимыми повторяется. Построим описание этой процедуры, применяя введенные предикаты s , p , M , α . При построении предиката в качестве R -множества возьмем множество всех коннекторов. Каждому коннектору должна соответствовать строка матрицы $\{a_{ik}\}$. В качестве F -множества возьмем объединение $D = D_L \cup D_R \cup D_s \cup D_G$, где D_L — множество левых границ именных групп; D_R — множество правых границ именных групп; D_s — множество слабых зависимых слов; D_G — множество «слов общего значения». столбцы матрицы $\{a_{ik}\}$ соответствуют D_L , D_R , D_s , D_G .

Тогда условие нахождения в i -й фразе коннектора, стоящего не далее чем в l -й позиции, запишется так: $S(x, T_l) s(x, y) p(l, i, x) = 1$ (3). Уравнение имеет на множестве слов текста T несколько решений x_1, \dots, x_n . Все они являются коннекторами, и их истинность проверяется поочередно. Дальнейшие условия записываются для x_i , принадлежащего множеству решений (3). Условие нахождения в той же фразе, что и коннектор, справа от него, на расстоянии не далее l , записывается, как $S(y, T_l) \alpha(x_i, y) S(y, D_R) M(i, l, x_i, y) = 1$ (4). Употребление предиката α связано здесь с тем, что не для каждого коннектора вообще имеет смысл искать правую границу, т. е. рассматриваемая процедура «работает» не для всех коннекторов.

Соотношение (4) представляет собой уравнение, имеющее несколько решений на множестве T . Из множества решений (4) выбирается то, которое максимизирует функцию $p_i(y)$.

Пусть y_1 — такое решение (4). Тогда условие отсутствия в той же фразе, где найден коннектор «ложного» антецедента, запишется так:

$$\bigvee_{y \in T} S(y, T_l) s(y, z_0) M(i, R, y, z_0) = 0, \quad (5)$$

где $R > 0$ — любое число, заведомо большее количества слов в одной фразе; z_0 — решение уравнения $M(i, l, z, y) S(z, T_l) = 1$ (6), которое всегда существует и при фиксированном i является единственным (это и есть N).

Условие нахождения для z_0 антецедентов в предыдущих фразах описывается уравнением

$$S(z_0, D_G) \bigvee_{\substack{y \in T \\ k < l}} S(y, T_k) s(y, z_0) = 1. \quad (7)$$

Таким образом, если коэффициент $S(z_0, D_G) = 1$, то x — истинный коннектор, антецедент не ищется и устанавливается связь с фразой T . Если же $S(z_0, D_G) = 0$ и уравнение (7) имеет несколько решений, то выбирается решение y_2 , максимизирующее функцию $P(y)$. Если $y_2 \in T_k$, то проверяется выполнение условия

$$\bigwedge_{k < l < i} \bigvee_{z \in T_l} S(z, T_l) s(z, y) = 1. \quad (8)$$

Затем в T_k ищется левая граница как решение уравнения $S(y, T_k) S(y, D_l) M(k, R, y_2) = 1$ (9), максимизирующее функцию $P(y)$. Обозначим такое решение (9) через y_3 .

Аналогично правая граница справа от A находится как решение уравнения $S(y, T_k) S(y, D_R) M(k, R, y_2, y) = 1$ (10) минимизирующее функцию $P(y)$. Это решение (10) обозначим через y_4 .

Множество A -зависимых слева от A описывается уравнением $S(y, T_k) M(k, R, y, y_2) M(k, R, y_2, y) = 1$ (11), а множество N -зависимых — уравнением $S(y, T_i) M(i, R, y, z_0) M(i, R, x_i, y) = 1$ (12).

Обозначим через U множество решений (11), через W — множество решений (12). Тогда условие вхождения A -зависимых (за исключением, быть может, слабых зависимых слов) в множество A -зависимых запишется следующим образом:

$$\bigwedge_{y \in W} [S(y, U) \vee S(y, D_s)] = 1. \quad (13)$$

В случае невыполнения условия (13) формируется множество U_1 , A -зависимых слов, расположенных справа от A , как множество решений уравнения $S(y, T_k) M(k, R, y_2, y) M(k, R, y, y_4) = 1$ (14). Аналогичное (13) условие запишется следующим образом:

$$\bigwedge_{y \in W} [S(y, U_1) \vee S(y, D_s)] = 1. \quad (15)$$

Проверкой этого условия заканчивается установление связи T_i с T_k .

Система соотношений (3)—(5) является рекуррентной по номеру фразы, что позволяет последовательно, просматривая текст фразы за фразой, устанавливать сверхфразовые связи.

На основе рассмотренных функций может быть построена следующая система программно-языковых средств.

Оператор эквивалентности, соответствующий предикату s ;

Оператор принадлежности, соответствующий функции S ;

Оператор позиции в тексте, соответствующий функции P ;

Оператор позиции в фразе, соответствующий предикату p ;

Оператор дистантности, соответствующий предикату M ;

Оператор связи, соответствующий предикату a ;

Служебные операторы:

«читать (запоминать) текст», «читать (запоминать) фразу», «читать (запоминать) слово», «читать (запоминать) символ», «формировать реферат», «вывести текст», «вывести реферат», «читать назад слово (фразу)».

Оператор вычисления значения логического выражения составленного с применением дизъюнкции и конъюнкции.

На первом этапе, чтобы избежать построения достаточно сложного транслятора, каждый оператор можно оформить как самостоятельную программу со стандартным набором параметров, таких как адреса размещения текста, фразы, слова, сим-

вола, служебных полей и таблиц и т. п. Результат работы логических операторов — номер позиции, логический результат (0 или 1) и адресная информация. Из результатов составляется логическое выражение и вычисляется его значение. На основе адресно-позиционной информации строятся таблицы множества решений уравнений типа (3)—(15). В такой системе, реализованной на ЭВМ ЕС, программа анализа текста выглядит как последовательность обращений к отдельно транслируемым с Ассемблера процедурам, объединенным на этапе редактирования.

Описанный формально-логический подход позволил сравнительно быстро реализовать систему квазиреферирования русских и английских научно-технических текстов, а также ряд процедур редактирования текста и экспериментально проверить некоторые гипотезы относительно сверхфразовых связей в текстах на естественном языке.

Список литературы: 1. Бервон В. Е. Об одном подходе к проблемам автоматического реферирования и автоматического свертывания индексируемых текстов. — НТИ 1971, сер. 2, № 10, с. 16—21. 2. Бервон В. Е. Некоторые способы формализации процесса установления отношения U-зависимости между предложениями в связанном тексте. — НТИ, 1971, сер. 2, № 8 с. 30—34. 3. Бервон В. Е., Блехман М. С. Категория определенности и сверхфразовые синтаксические связи в тексте. — НТИ, 1981, сер. 2, № 9, с. 22—26. 4. Пиотровский Р. Г. Текст, машина, человек. — Л.: Наука, 1975. — 327 с.

Поступила в редколлегию 14.07.83

УДК 65.011.56:681.3.06

И. Е. ФРОЛОВА

СИНТЕЗ ТЕСТОВ ДЛЯ СХЕМ С ГЛОБАЛЬНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ И С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ

Построение тестов для проверки исправности последовательностных устройств — более сложная задача, чем аналогичная — для комбинационных схем.

Предлагается использовать комбинационный подход к решению задачи синтеза тестов для последовательностных схем при введении блокирующих вентилей. Достоинство всех методов, использующих указанный выше подход к построению тестов для схем с элементами памяти, — это возможность применения единого математического аппарата при синтезе тестов. В данной статье предлагается метод булевых производных [1].

Эффективный подход к решению задач, связанных со структурой и диагностикой вычислительных устройств, состоит в использовании теории графов.

Для тестированию устройства с глобальными обратными связями должно предшествовать исследование его блочной

схемы, что формально можно выполнить путем построения и анализа графа причинно-следственных связей [2].

Такой граф содержит n вершин, обозначенных символами $V_1 \dots V_n$. Дуга от вершины V_i к вершине V_j проводится в графе в том случае, когда в блочной схеме объекта существует канал передачи информации от блока V_i к блоку V_j .

Основная цель анализа графа — выделение его максимальных сильносвязных подграфов. Рассмотрим алгоритм нахождения минимальных совокупностей вершин и дуг графа, разрыв которых приводит к разрыву всех контуров графа (всех обратных связей в блочной схеме объекта).

Выделение максимальных сильносвязных подграфов выполняется в два этапа: сначала находится подграф, содержащий все максимальные сильносвязные подграфы, а затем из него получают каждый из искомым подграфов в отдельности. Эту задачу можно решить, используя матрицу соединений, в каждой клетке которой отмечены пути, ведущие из вершины, соответствующей рассматриваемой строке, в вершину, соответствующую рассматриваемому столбцу.

Алгоритм, работающий с матрицей соединений графа и решающий задачу выделения совокупности всех максимальных сильносвязных подграфов, состоит в следующем.

Шаг 1. Проверить в матрице наличие пустых строк (столбцов): если такие строки (столбцы) есть, то перейти к шагу 2, в противном случае — к шагу 3.

Шаг 2. Вычеркнуть из матрицы соединений все пустые строки (столбцы) и соответствующие им столбцы (строки), перейти к шагу 1.

Шаг 3. Останов. Совокупность строк и столбцов задают приведенную матрицу соединений подграфа, содержащего все максимальные сильносвязные подграфы. Обозначим через $n_{пр}$ число строк (столбцов) приведенной матрицы соединений.

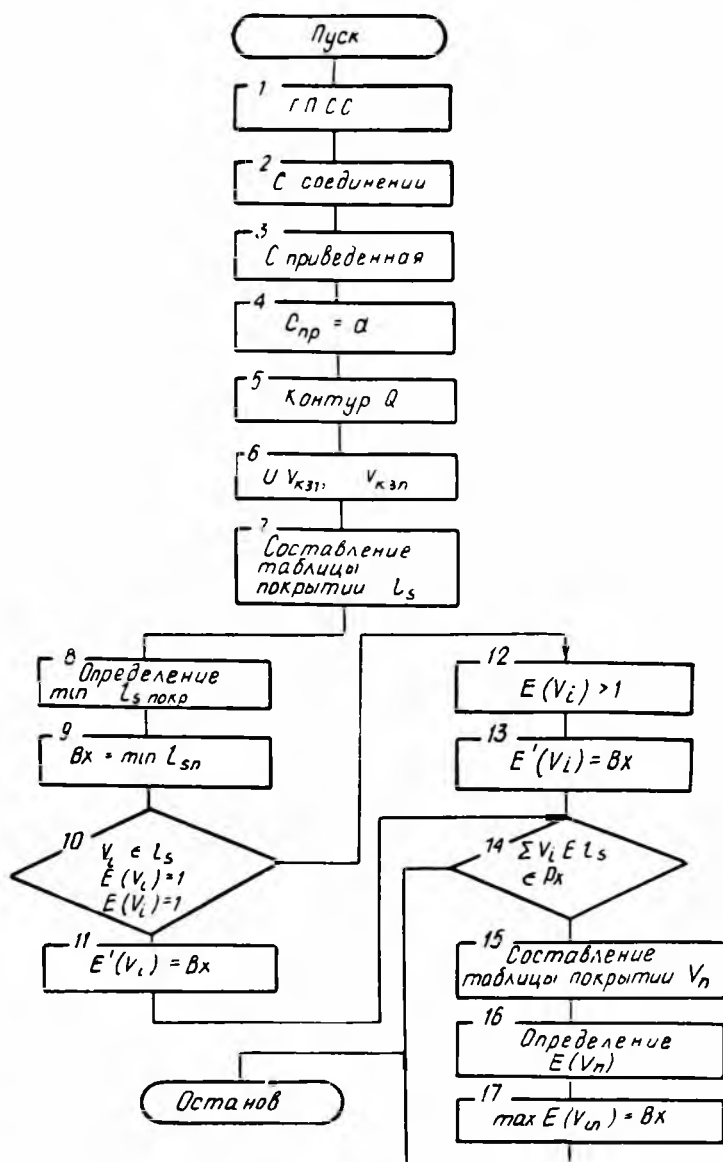
Затем перейдем к выделению отдельных максимальных сильносвязных подграфов. Для этого воспользуемся операцией возведения приведенной матрицы соединений $C_{пр}$ в степень 2, 3 и т. д. до степени $d \leq n_{пр}$ такой, что $C_{пр} = C_{пр}^{d+1}$.

Для каждого $i = 2, 3, \dots, d$ в клетках главной диагонали соответствующей матрицы $C_{пр}^i$ будут записаны все контуры длины i , если они имеются в графе.

Чтобы получить максимальные сильносвязные подграфы, необходимо взять все контуры длины i ($i = 2, 3, \dots, d$) из всех матриц $C_{пр}^i$, а затем выполнить многократное попарное объединение совокупностей вершин контуров, содержащих хотя бы одну общую вершину.

Располагая перечнем всех элементарных контуров в виде перечисления принадлежащих им вершин и дуг, можно получать

минимальные совокупности дуг, а также вершин, разрыв которых приводит к разрыву всех контуров графа. Выполнить такую минимизацию можно при помощи таблиц покрытий, откуда находим минимальную совокупность дуг $\{l_1, \dots, l_s, \dots, l_n\}$ и вершин $\{V_1, \dots, V_s, \dots, V_k\}$, покрывающих всю таблицу. Такие дуги являются местами введения блокирующих вентилей. После



выбора минимального числа покрывающих дуг $\{l_1, \dots, l_{k-1}\}$ анализируем оставшиеся дуги $\{l_k, \dots, l_n\}$. Если среди множества $\{l_k, \dots, l_n\}$ есть дуги с общей вершиной (с одним входом и одним выходом), то в рассматриваемом множестве остается выходная дуга вершины. Если в множестве $\{l_k, \dots, l_n\}$ содержатся дуги, имеющие общую вершину, с числом входящих дуг более одной, то блокирующий клапан располагается на выходной дуге вершины, у которой большее число выходных дуг.

Если введенного числа блокирующих клапанов недостаточно для образования всех одномерных чувствительных путей в проверяемом устройстве, то анализируем таблицу покрытия вершин. Каждой покрывающей вершине приводим соответствующий вес, который определяется числом входных дуг.

На входные дуги вершины, имеющие максимальный вес и не входящие в число вершин, которые принадлежат покрывающим дугам, ставятся блокирующие клапаны. Граф-схема алгоритма приведена на рисунке.

При заключении $n - 1$ блокирующих клапанов и отключении n -го клапана образуется n одномерных чувствительных путей, для которых строятся тесты с использованием метода булевых производных.

Для синтеза тестов выделяем в схеме элементы памяти и комбинационные подсистемы, ассоциируемые с каждым элементом памяти, составляем структурное описание схемы [3], для элементов памяти вводим набор тестов, проверяющих функционирование элементов. После составленного структурного описания схемы для логических элементов применяем обратные бескомочные выражения и, используя алгоритм [3], синтезируем тесты.

Для проверки элементов памяти функциональные тесты склеиваются с тестами, полученными для комбинационных подсистем.

Так как подсистемы, образованные при введении блокирующих клапанов, отмечаются соединениями между элементами, то при приложении конечного теста к схеме легко локализовать неисправный элемент или соединение. Таким образом, результирующий тест, построенный по предлагаемой методике, — диагностический для схем с глобальными обратными связями и с элементами памяти.

Список литературы: 1. Селлерс Ф. Методы обнаружения ошибок в работе ЭЦВМ. — М.: Мир, 1972. — 153 с. 2. Основы технической диагностики Кн. 1 / Под ред. П. П. Пархоменко. — М.: Энергия, 1976. — 449 с. 3. Фролов И. Е. Мызь А. Н. Алгоритмический метод синтеза тестов для комбинационных схем. — В кн.: Локальные автоматизированные системы автоматики. К., 1979, с. 15 — 18.

Поступила в редколлегию 24.12.82.

О ПСИХОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ (ТЕОРИЯ СРЕДНЕГО)

Приведенные в работе [1] экспериментальные результаты, основанные на случайном для теории материале и выполненные в ограниченном объеме, могут иметь только предварительный характер.

Рассмотрим принципиальную схему специально поставленного эксперимента для проверки и уточнения основных положений концепции. Наиболее ценный — прямой эксперимент на животных.

Пусть животному, реагирующему на запах и хотя бы простой геометрический рисунок, предъявляется привлекающая его потребность (вода, пища, половой партнер), зачехленная, например, цилиндром с нанесенным на нем полосами. Между животным и потребностью устанавливается токопроводящая площадка для того, чтобы подбором шагового напряжения животное, стремящееся к потребности, останавливать и измерять в единицах шагового напряжения уровень интенсивности реакции на потребность. Закрывая потребность светонепроницаемым экраном, можно измерить интенсивность рефлекторной реакции на запах-признак, вызывающий безусловный рефлекс. Наоборот, закрывая потребность прозрачным стеклянным колпаком, не пропускающим запаха, можно измерить реакцию на признак потребности, связанную с картиной на цилиндре, т. е. интенсивность выработанного условного рефлекса [2].

Предъявим животному n однородных потребностей i ($i = 1, 2, \dots, n$) с заданными заранее расстояниями между полосами L_i , средним расстоянием между полосами \hat{L}_i , дисперсией этих расстояний σ_i^2 .

Пусть, кроме того, предъявляются «пустые» чехлы (например, половой конкурент) с расстоянием между полосами L_0 . В более сложном варианте L_0 может быть средним для некоторого набора L_i . Однако целесообразно для начала упростить эксперимент.

Согласно [1] для рефлекторной и эстетической реакций имеем

$$P_i = \alpha \ln \left(\frac{\Delta L_i^2}{\gamma^2 \sigma_i^2} + 1 \right) \quad (1); \quad N_i = -\beta \ln \frac{\delta L_i^2}{\gamma^2 \sigma_i^2}. \quad (2)$$

Признаком потребности, вызывающей условный рефлекс, будет величина $\Delta L_i = \hat{L}_i - L_0$; $\delta L_i = L_i - \hat{L}_i$ — отклонение от среднего по данному роду объектов; $\sigma^2 = \sum_n \delta L_i^2 / n$ — дисперсия.

Задавая различные картины чехлов (величины признаков, отклонений от среднего и дисперсий), можно рассчитать ожидае-

мые рефлекторные и эстетические реакции и сопоставить их с экспериментальными результатами.

Соотношения (1) и (2) могут быть справедливыми в определенном интервале значений параметров. В предельных же случаях может проявиться или процесс насыщения биологической системы преобразования стимула в реакцию, или наличие шумов в измерительной системе.

Причиной насыщения биологической системы может явиться исчерпывание выходным сигналом Y энергия питания E . Можно ожидать, что приращение выходного сигнала ΔY пропорционально приращению входного сигнала ΔX и оставшейся запасенной энергии питания $E - Y$: $\Delta Y = a(E - Y) \Delta X$ (3), где a — коэффициент пропорциональности.

Решением дифференциального уравнения при условии, что при малых уровнях входного сигнала преобразованный сигнал стремится к значению входного сигнала, будет

$$Y = E \left[1 - \exp\left(-\frac{\lambda}{E}\right) \right]. \quad (4)$$

При малых значениях параметров ΔL_i , δL_i , δ_i должен проявиться внутренний шум биологического измерителя $\delta_{ш}^2$ и соотношения (1) и (2) преобразуются, вероятно, следующим образом:

$$P_i = \alpha \ln \frac{\Delta L_i^2 + \sigma_{ш}^2}{\gamma^2 (\sigma_i^2 + \sigma_{ш}^2)} + 1; \quad N_i = -\beta \ln \frac{\delta L_i^2 + \sigma_{ш}^2}{\gamma^2 (\sigma_i^2 + \sigma_{ш}^2)}.$$

Вероятно, что в уравнении (1) окажется излишней единица. Отметим, что был бы ценным и косвенный эксперимент, подобный описанному в (1), но выполненный на специально подготовленном материале в большем объеме с более точной оценкой числа градаций для проверки соотношения (2) и функции распределения эстетической реакции $G\left(\frac{N}{\beta}\right)$.

Список литературы: 1. Тух А. И. Значимость информации и психодинамическая модель. (Теория среднего). — Пробл. бионики, вып. 31, с. 12 — 18. 2. Павлов И. П. Избранные труды. — М.: Наука, 1954. — 205 с.

Поступила в редколлегию 09.09.83.

УДК 62.506.2

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

СИСТЕМА КОДИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ИГРОВЫХ СИТУАЦИЙ В ВОЛЕЙБОЛЕ

Визуальная оценка значимости спортсмена как звена целесообразной системы связана со значительными трудностями даже при использовании видеозаписи, так как наблюдатель не может оперировать всеми необходимыми для такой оценки

данными. При использовании для этой цели цифровых вычислительных машин возникают значительные трудности, связанные с необходимостью цифрового кодирования игровых ситуаций при анализе кинограмм или телевизионных изображений.

В данной работе предлагается техническая реализация системы автоматического ввода, кодирования и анализа информации, считываемой с телевизионной передающей трубки.

Задача формулируется следующим образом. Пусть имеется зрительная картина $U(x, y, t)$, заданная большим числом точек разложения. В фиксированный момент времени t_i на экране трубки появляется телевизионное изображение A_i с числом точек 500 000. В течение времени τ посредством электронного луча производится развертка изображения. При этом параметры изображения остаются неизменными до тех пор, пока луч вернется в исходную точку. Затем луч опять обходит весь экран сверху донизу за время τ . Все изменения параметров изображения A_i , происшедшие в момент времени $t_{i+1} = t_i + \tau$, будут отличать вновь появившееся изображение A_{i+1} от A_i . Таким образом, в отдельные моменты времени на экране появляются стационарные картины, которые, накладываясь одна на другую, создают у зрителя эффект непрерывного, слитного во времени и в пространстве изображения.

Время τ , которое луч тратит на развертку изображения, составляет 0,04 с, и цифровая ЭВМ должна запомнить 500 000 точек, характеризующих зрительную картину, что эквивалентно выполнению около $2 \cdot 10^{11}$ операций в секунду. Если запоминать информацию о каждой точке зрительного образа, то кроме высокого быстродействия цифровая ЭВМ должна иметь и оперативную память большой емкости. Таких параметров не имеет ни одна современная ЭВМ. Следовательно, обрабатывать полностью зрительные образы не представляется возможным.

Однако при анализе игровых ситуаций в волейболе кодированию подлежит не вся информация, характеризующая зрительный образ, а данные о зоне поля игры, времени игры, количестве игроков в данной зоне поля, траектории полета мяча и т. д. Это позволяет осуществлять представление зрительной картины 10000 точек (100×100) и обрабатывать образы на гибридных вычислительных системах (ГВС) специализированного типа.

Математическая модель обработки информации, считываемой с телевизионной трубки и передаваемой в цифровую ЭВМ, аналогична модели переработки информации в зрительной системе человека [1] и представляет собой совокупность алгоритмов:

$$U_i = \int_0^{\infty} B_{\lambda} A_i(\lambda) d\lambda; \quad (1)$$

$$a_i \frac{\partial p_i}{\partial t} - b_i^2 \left(\frac{\partial^2 p_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p_i}{\partial y^2} \right) + p_i = k_i U \quad (2)$$

$$V_i = c_i \lg d_i p_i; \quad (3)$$

$$Q_i = \frac{1}{f_i} (V_i - N_i); \quad (4)$$

$$g_i \frac{\partial N_i}{\partial t} - h_i^2 \left(\frac{\partial^2 N_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_i}{\partial y^2} \right) + N_i = (1 - f_i) Q_i; \quad (5)$$

$$R_i = \frac{1}{r_i} (Q_i - T_i); \quad (6)$$

$$m_i \frac{\partial T_i}{\partial t} - n_i^2 \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} \right) + T_i = (1 - r_i) R_i; \quad (7)$$

$$W_i = R_i - R_1 \quad (8); \quad S_2 = \sqrt{W_2^2 + W_3^2}; \quad (9)$$

$$S_3 = \operatorname{arctg} \frac{W_2}{W_3}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Основная трудность здесь — реализация уравнений (2), (5), (7). Произведем замену уравнения (2) интегральной формой [2]:

$$p_i(x, y, t) = \frac{k}{4\pi b^2} \int_0^t d\tau \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{t-\tau}{a}}}{t-\tau} e^{\frac{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2}{4b^2 \frac{t-\tau}{a}}} U_i(\xi, \eta, \tau) d\xi d\eta. \quad (11)$$

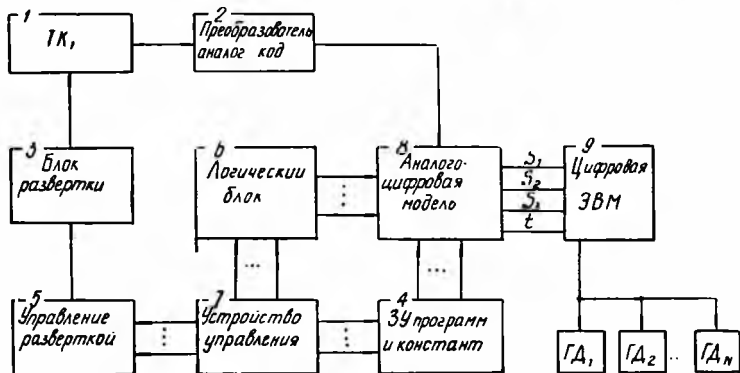
Указанное уравнение можно реализовать схемой, построенной на базе цифровых интеграторов и выполняющей последовательное интегрирование по ξ , η и τ [3].

Таким образом, имеется возможность создать техническую систему, позволяющую вводить информацию в цифровую ЭВМ с телевизионной передающей трубки. На рисунке — схема такой системы. Информация с телевизионной передающей трубки ТК₁ это напряжение, пропорциональное яркости зрительной картины. Это напряжение преобразуется в блоке 2 в число-импульсный код. Блоки развертки 3 и управления разверткой 5 осуществляют развертку изображения с заданной частотой. Пусковые импульсы они получают от общего управляющего устройства 7. В блоке 4 хранятся программы перестройки аналого-цифровой модели и константы, которые автоматически вводятся в соответствующие вычислительные блоки по командам от логического блока и устройства управления. Информация от блока 8 в виде чисел S_1 , S_2 , S_3 , пропорциональных светлоте, цветовому току и насыщенности, для каждой из 10000 точек зрительной картины вводится в цифровую ЭВМ. Блок 8 содержит аналоговые элементы, элементы цифровых интегрирующих машин и согласующее устройство.

Структурную схему аналого-цифровой модели опишем с помощью контекстно-свободного плекс-языка КСП-языка [3].

Дадим определение контекстно-свободной плекс-грамматики (КСП-грамматики) и КСП-языка для аналого-цифровых структур.

КСП-грамматикой называется упорядоченная четверка $G = \langle S, A, B, R \rangle$, где $S \in B$ — начальный символ; A — алфавит терминальных символов; B — алфавит вспомогательных символов, а R — множество правил вывода вида $V_i \rightarrow \psi r$, где $V_i \in B$; $R \in$



$\in (A \cup B)^+$; $\psi \in E_p \times E_{B_i}$. Если $P = \Gamma C_1 C_2 \dots C_n$, где $C_j \in A \cup B$, $j = \overline{1, n}$; Γ — матрица конкатенации $n \times n$, указывающая способ соединения П-элементов, содержащий любое число контактов, тогда подстановку ψ можно записать в виде $\psi = (\psi_{1B_i}, \psi_{2B_i}, \dots, \psi_{nB_i})$, где ψ_{jB_i} — подстановка П-элемента C_j вместо П-элемента B_i .

Множество $L(G)$ всех терминальных плексов, выводимых в КСП-грамматике G , называется КСП-языком.

Используя эти определения, введем понятия S, A, B, R для аналоговых, цифровых и аналого-цифровых структур.

$S_1 = \{AC\}$, где AC — идентификатор аналоговой структурной схемы. Алфавит терминальных символов A_1 определяет множество аналоговых вычислительных блоков. $A_1 = \{I_i, ИИ_i, ИС_i, K_i, C_i, M_i, Д_i, ФП_i, ЛЭ_i, ЭС_i, БН_i, РУ_i\}$. Здесь $I, ИИ, ИС, K, C, M, Д, ФП, ЛЭ, ЭС, БН, РУ$ — соответственно идентификаторы интегратора, инвертора, интегро-сумматора, потенциометра, сумматора, блока перемножения, деления, функционального преобразователя, логического элемента, элемента сравнения, блока начальных условий, регистрирующего устройства; i — целочисленная переменная, определяющая адрес вычислительного блока.

Алфавит вспомогательных символов B определяет множество наименований стандартных схем, $B_1 = \{\sin_i, \cos_i, \dots\}$, где \sin, \cos — идентификаторы стандартных схем, воспроизводящих функции $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$, а i — определяет их адрес.

Правила вывода R_1 представляют собой операции включения в плекс структурной схемы описания стандартной схемы. Они имеют вид $R_1 = \{B_i \rightarrow \psi p\}$, где $B_i \in B_1$; $p \in (A_1 \cup B_1)^+$; $(A_1 \cup B_1)^+$ — множество всевозможных плексов над алфавитом $A_1 \cup B_1$; ψ — подстановка плекса p вместо идентификатора стандартной схемы B_i .

Введем понятия S, A, B, R для цифровых интегрирующих структур, состоящих из разнотипных вычислительных блоков.

$S_2 = \{\text{ЦС}\}$, где ЦС — идентификатор цифровой структурной схемы; $A_2 = \{\text{ЦИ}_i, \text{ЦИН}_i, \text{ЦИС}_i, \text{ЦС}_i, \text{ЦМ}_i, \text{ЦФП}_i\}$, где ЦИ, ЦИН, ЦИС, ЦС, ЦМ, ЦФП — соответственно идентификаторы цифровых интеграторов, инверторов, интегро-сумматоров, сумматоров, блоков перемножения, функциональных преобразователей, i — целочисленная переменная, определяющая их адрес. $B_2 = \{\text{ЦСО}R_i, \text{ЦЕХ}P_i, \dots\}$, где ЦСО R , ЦЕХ P — идентификаторы образования функций $y = \sqrt{x}$, $y = e^x$.

Правила вывода R_2 имеют такой же вид, как и для аналоговых структур: $R_2 = \{B_i \rightarrow \psi p\}$.

Аналого-цифровая структура может быть описана языком L_3 , представляющим собой объединение языков описания аналоговых L_1 и цифровых L_2 структур.

Объединением КСП-языков L_1 и L_2 при условии, что $B_1 \cap \cap B_2 \neq \emptyset$, называется язык L_3 , порождаемый грамматикой $G_3 = \langle S_3, A_3, B_3, R_3 \rangle$, где $A_3 = A_1 \cup A_2$; $B_3 = B_1 \cup B_2 \cup \{S_3\}$; $R_3 = R_1 \cup R_2 \cup \{S_3 \rightarrow S_1, S_3 \rightarrow S_2\}$, S_3 — начальный символ, не имеющий контактов, причем $S_3 \notin S_1$ и $S_3 \notin B_2$.

Используя введенный язык, описание аналого-цифровой структуры блока δ можно представить в виде

$$P_3 = \Gamma_3 \text{ АЦС ЦИС}_1 \text{ ЦИС}_2 \text{ ЦИС}_3 \text{ АЦП}_1 \text{ ЦАП}_1 \\ K_1 \text{ ИН}_1 \text{ ФП}_1 K_2 \text{ ИН}_2 K_3 K_4 \text{ ИН}_3 K_5 K_6 \\ \text{ИН}_4 K_7 K_8 K_9 K_{10} K_{11} \text{ ИН}_5 \text{ ИН}_6 \text{ ИН}_7 M_1 \\ M_2 D_1 \text{ ФП}_2 \text{ СО } R_1 C_1.$$

Перенумеруем П-элемент плекса P_3 слева направо, а затем, воспользовавшись правилом получения Γ -вектора [4], построим Γ_3 -вектор.

$$\Gamma_3 = \{1, 0, 2, 1 | 2, 0, 3, 1 | 3, 0, 3, 2 | 3, 0, 2, 2 | 3, 0, 5, 1; \\ 4, 0, 1, 2 | 5, 0, 17, 0 | 5, 0, 18, 0 | 5, 0, 19, 0 | 17, 0, 6, 0; \\ 6, 0, 7, 1 | 7, 0, 8, 1 | 8, 0, 9, 0 | 9, 0, 10, 1 | 10, 0, 11, 0; \\ 18, 0, 12, 0 | 11, 0, 13, 1 | 13, 0, 14, 0 | 14, 0, 16, 1 | 13, 0, 20, 0; \\ 15, 0, 16, 1 | 16, 0, 21, 0 | 20, 0, 4, 1 | 21, 0, 4, 1 | 16, 0, 22, 1; \\ 22, 0, 23, 1 | 22, 0, 24, 1 | 23, 0, 22, 2 | 23, 0, 25, 1 | 24, 0, 25, 1; \\ 24, 0, 25, 2 | 24, 0, 27, 2 | 23, 0, 27, 1 | 23, 0, 26, 2 | 25, 0, 30, 1; \\ 26, 0, 30, 2 | 30, 0, 29, 1 | 27, 0, 28, 1\}.$$

В плекс P_3 — элементы АЦП₁ и ЦАП₁ — идентификаторы специальных аналого-цифровых и цифроаналоговых преобра-

зователей, которыми нужно дополнить алфавит терминальных символов A_3 , а COR_1 — идентификатор аналоговой схемы извлечения квадратного корня, которым нужно дополнить алфавит A_1 .

Рассмотренное описание аналого-цифровой структуры дает возможность достаточно просто изменять структуру блока δ , используя правила вывода R_1, R_2, R_3 .

Для анализа игровых ситуаций используется специальное программное обеспечение, в состав которого входят: входной язык; блок выделения и идентификации игровой ситуации; блок выделения объекта слежения; программы предварительной обработки данных радиотелеметрической аппаратуры; программы, обеспечивающие интерактивный режим; управляющая программа.

Для примера кратко рассмотрим применение данной системы в качестве тренажера для подготовки разыгрывающих игроков.

Передача мяча в волейболе является главным элементом, от которого зависит эффективность действий игроков нападающего плана и как следствие — результат игры. При обучении волейболист с контактным устройством на пальце руки располагается около волейбольной сетки, верхний край которой обшит мерной лентой, и выполняет передачу мяча в заданную зону. Установленная в спортивном зале телекамера передает зрительную картину $I(x, y, t)$ в блок δ , который осуществляет преобразование ее в числа S_1, S_2, S_3 для каждой из 10 000 точек и вывод в память цифровой ЭВМ. Программное обеспечение последней позволяет выделить объект слежения, мяч и определить скорость, траекторию, путь и время полета. Импульс силы, приложенный волейболистом к мячу, фиксируется прибором. Полученная информация о качестве выполнения передачи мяча сравнивается с эталонными данными и передается на дисплей тренера. Результаты сравнения позволяют тренеру внести необходимые поправки в процесс тренировки, направить и ускорить процесс обучения игроков разыгрывающего плана.

В заключение отметим, что авторами разработано несколько алгоритмов для экспресс-анализа различных игровых ситуаций, которые позволяют в процессе игры вносить необходимые коррективы.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Рвачев В. Л., Мурашко А. Г. Математичні моделі зору. — К.: Техніка, 1966. — 95 с. 2. Тихонов А. Н. Об уравнении теплопроводности для нескольких переменных. — Бюл. Моск. ун-та, 1983, 1, вып. 9, с. 45 — 64. 3. Мурашко А. Г., Сенченко Н. И., Жиров А. Г. О моделировании процессов переработки информации в зрительной системе человека. — Пробл. бионики, 1975, вып. 15, с. 51 — 57. 4. Сенченко Н. И., Тереленко А. П., Якушев Ю. Н. Применение одного класса языков для описания и преобразования структурных схем гибридных вычислительных систем. — Электрон. моделирование, 1980, № 3, с. 20 — 24.

Поступила в редколлегию 28. 10. 82.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД НАСТРОЙКИ КАНАЛОВ ВВОДА
ФИЗИОСИГНАЛОВ В ЭВМ

В автоматизированных системах медицинской диагностики в связи с нестабильностью основных электрических параметров аналоговой аппаратуры необходимо предварительно проводить контроль состояния и настройку каналов ввода физиосигналов в ЭВМ.

В применяемых методах [1] для этого в качестве высокостабильного контрольного сигнала (КС) используется меандр амплитудой 1 мВ и частотой 1—2 Гц, приблизительно соответствующей средней частоте повторения реальных электрокардиосигналов (ЭКС). Однако выпускаемые промышленностью электрокардиографы не содержат специальных генераторов и позволяют только ручным образом формировать прямоугольные импульсы амплитудой 1 мВ. Поэтому возникла необходимость в разработке таких универсальных методов, которые позволили бы проводить настройку каналов ввода ЭКС в ЭВМ по меандру и по серии одиночных прямоугольных контрольных импульсов (КИ), формируемых вручную. Однако появляется ряд принципиальных трудностей, связанных с тем, что КИ могут иметь произвольную длительность и количество их в серии также может быть произвольным. Требуемой универсальностью, преодолевая указанные трудности, и обладает предлагаемый метод. Зоной измерения, несущей полезную информацию, считаются пологие участки (вершины) прямоугольных КИ.

Во время ввода КС через АЦП в ЭВМ производится усреднение L -го числа его последовательных измерений согласно выражению

$$Y_{j,k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L y_j(i), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

где $y_j(i)$ — численное значение сигнала в i -й точке измерений j -го канала; $Y_{j,k}$ — среднее значение k -го отсчета (группы точек) j -го канала; $L = 10$ при 500 Гц квантования АЦП, что позволяет избавиться от влияния сети с частотой 50 Гц.

Ядром метода является правило идентификации вершин КИ, основанное на сравнении значения аналога первой производной $\Delta Y_{j,k}/\Delta t_k$ с эмпирически определенным порогом $\alpha_{\text{пор}}$. Так как КС равномерно квантуется по времени АЦП с частотой 500 Гц, то вершина считается обнаруженной, если $\Delta Y_{j,k} = |Y_{j,k} - Y_{j,k-1}| \leq \leq \alpha_{\text{пор}}$ (2). Эмпирическим путем было установлено, что применение более сложных правил [1] при анализе достаточно стабильных по амплитуде прямоугольных КИ нецелесообразно, так как существенного выигрыша в точности распознавания вершин не достигается, зато значительно увеличивается время идентификации.

Алгоритм метода построен таким образом, что при обнаружении $(n + 1)$ -й вершины определяются среднее значение сигнала $\bar{Y}_{j,n}$ и среднее значение отклонения $\sigma_{j,n}$ для n -й вершины по формулам

$$\bar{Y}_{j,n} = \frac{1}{K_j} \sum_{k=1}^{K_j} Y_{j,k}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$$\sigma_{j,n} = \frac{\sum_{k=2}^{K_j} |Y_{j,k} - Y_{j,k-1}|}{K_j - 1}, \quad (4)$$

где K_j — число отсчетов j -го канала, попавших в n -ю зону измерения.

По истечении времени ввода КС производится вычисление среднего значения амплитуды \bar{A}_j и среднего отклонения («шума») $\bar{\sigma}_j$ КИ, а также среднего уровня изонулевой линии \bar{U}_j для всех каналов согласно выражениям

$$\bar{A}_j = \frac{\sum_{n=2}^{N_j} |\bar{Y}_{j,n} - \bar{Y}_{j,n-1}|}{N_j - 1}; \quad (5)$$

$$\bar{\sigma}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{n=1}^{N_j} \sigma_{j,n} \quad (6); \quad \bar{U}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{n=1}^{N_j} \bar{Y}_{j,n}, \quad (7)$$

где N_j — число идентифицированных вершин КС в j -м канале.

Допустимая амплитуда КИ на выходе АЦП задается формулой $A_{\text{доп}} = \gamma \left(\frac{E}{2} - \alpha_{\text{см}} \right)$ (8), где $\gamma = \frac{A_{\text{КС}}}{A_{\text{макс}}}$ — коэффициент, равный отношению амплитуды КС $A_{\text{КС}}$ (1 мВ — в нашем случае) к максимальной амплитуде реального сигнала (для ЭКГ $A_{\text{макс}} = 4$ мВ); $\alpha_{\text{см}}$ — допустимое смещение изонулевой линии сигнала; E — предельное значение сигнала на выходе АЦП.

Контроль состояния всех каналов ввода проводится синфазно по следующим параметрам: коэффициент усиления, равный средней амплитуде КС, уровень шума — $\bar{\sigma}_j$, смещение — ΔH_j и дрейф D_j изонулевой линии. Значения последних двух параметров вычисляются по формулам

$$\Delta H_j = \left| \bar{U}_j - \frac{E}{2} \right| \quad (9); \quad D_j = \max \left| \bar{U}_j - \frac{(\bar{Y}_{j,n} + \bar{Y}_{j,n-1})}{2} \right|; \quad n = \overline{2, N_j}. \quad (10)$$

В случае выхода значений перечисленных параметров для каждого из каналов за допустимые пределы выдаются диагностические сообщения о состоянии каналов с указанием величины превышения над соответствующим порогом. Полученные

указания используются для более точной настройки каналов ввода.

Главное достоинство предлагаемого метода — универсальность, так как он позволяет оперативно в диалоговом режиме проводить настройку каналов ввода физиосигналов при использовании в качестве КС как меандра, так и любого числа прямоугольных импульсов произвольной длительности, формируемых ручным образом.

Изложенный выше метод был реализован на языке ФОРТРАН и Мнemoкод для ЭВМ М-6000. Комплекс программ включает 190 операторов ФОРТРАНа и 80 операторов Мнemoкода, занимает около 1730 ячеек оперативной памяти. Время его выполнения зависит от числа одновременно настраиваемых каналов и практически не превышает более чем на 30% время ввода КС, задаваемое оператором.

Важнейшим показателем, наиболее полно характеризующим эффективность любого метода получения и обработки результатов измерения, является полная погрешность, возникающая при определении некоторого информативного параметра по этому методу. В данном случае в качестве такого параметра был выбран коэффициент усиления (КУ) канала ввода физиологической информации в ЭВМ, численно равный среднему значению амплитуды КС в соответствующем канале.

Согласно основным положениям теории измерений полная погрешность в общем виде представляет собой совокупность ее динамической и статической составляющих: $\Delta_n = \delta_d + \gamma_c$ (11).

Причина возникновения динамической погрешности — инерционные свойства функциональных звеньев измерительной системы. Однако этой разновидностью погрешности практически можно пренебречь, если в процессе измерения сигналов выполняется условие теоремы Котельникова, получившей за рубежом название теоремы отсчетов Шеннона. Согласно этой теореме частота квантования измеряемого сигнала должна минимум в два раза превышать значение высшей частотной составляющей его спектра. На практике, как правило, это число выбирают равным 2,28 [2].

В данном случае при настройке каналов ввода физиосигналов по рассмотренному выше методу в качестве КС использовались серии КИ произвольной длительности амплитудой 1 мВ. Согласно теории электромагнитных колебаний, 95% всей энергии спектра прямоугольного импульсного сигнала сосредоточено в диапазоне частот $0 \leq f < f_{гр} = 2/t_n$ (12), где $f_{гр}$ — граничная частота спектра; t_n — длительность импульса. Так как в ходе эксперимента минимальная длительность импульсов составляла 0,25 с, то граничная частота спектра, принятая за верхнюю спектральную составляющую сигнала, не превышала 8 Гц, что при частоте квантования 500 Гц полностью удовлетворяло усло-

вию теоремы Котельникова. Поэтому в данном случае влияние динамической погрешности не учитывалось.

Любой реальный процесс измерений полтвержен воздействию целого ряда случайных факторов, существенно влияющих на его точность. Поэтому на практике наиболее достоверное значение погрешности при определении некоторого информативного параметра по любому методу измерений получают тогда, когда учитывают и статистические свойства измеряемого сигнала. Следовательно, в данном случае статическая погрешность включает в себя помимо относительной погрешности АЦП еще и статистическую погрешность определения среднего значения КУ канала: $\delta_c = \delta_{\text{АЦП}} + \delta_{\text{ст}}$ (13). Согласно техническому паспорту основная относительная погрешность десятиразрядного АЦП типа А611-8/2 определяется выражением $\delta_{\text{АЦП}} = \pm \left[e + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right]$ (14), где $e/d = 0,3/0,2$ — класс точности АЦП; X_k — конечное значение шкалы АЦП, равное $(2^{10} - 1)$; X — величина квантуемого входного сигнала, выраженная в единицах шкалы АЦП.

Вычисленная по формуле (14) $\delta_{\text{АЦП}}$ для КИ с амплитудой 1 мВ, соответствующей 100 ед. шкалы АЦП, не превысила $\pm 2,15\%$.

Наиболее сложной проблемой явилась оценка статистической погрешности. Процесс ее определения включал два этапа: на первом осуществлялась проверка гипотезы о нормальности распределения среднего значения КУ канала; на втором, в случае ее подтверждения, определялись границы доверительного интервала статистической погрешности при выбранном уровне доверительной вероятности. Необходимость такого двухступенчатого подхода объясняется, с одной стороны, ограниченными объемами выборки значений КС, а с другой — развитостью и гибкостью математического аппарата для анализа нормальных (гауссовых) распределений, считающихся в статистике классическими.

Количественная оценка отклонения от нормального эмпирического распределения среднего значения КУ канала производилась на основании методики, изложенной в работе [2], с помощью χ^2 -распределения. Так как зоной измерения для описанного выше метода являются только пологие участки (вершины) КИ, то всю совокупность результатов измерений (глобальную выборку) можно условно разбить на две группы (локальные выборки): одна — включает в себя все значения, соответствующие высокому («+») уровню КС, другая — значения, соответствующие низкому («-») уровню КС. Тогда общая задача проверки гипотезы о нормальности распределения среднего значения КУ канала, равного средней амплитуде КС, т. е. разности средних значений высокого и низкого уровней, сводится к двум совершенно идентичным задачам проверки гипотезы о нормальности распределения среднего значения каждого уровня. Если же

распределения средних значений обоих уровней нормальны, то согласно положениям теории вероятности нормально и распределение среднего значения КУ канала.

Процедура проверки гипотезы о нормальности осуществлялась следующим образом. Вначале для каждой экспериментальной сформированной локальной выборки определялись две оценки — выборочное среднее $\bar{X}^{+(-)}$ и отклонение $S^{+(-)}$

$$\bar{X}^{+(-)} = \frac{1}{n^{+(-)}} \sum_{i=1}^{n^{+(-)}} X_i^{+(-)} \quad (15)$$

и

$$S^{+(-)} = \sqrt{\frac{1}{n^{+(-)} - 1} \left[\sum_{i=1}^{n^{+(-)}} (x_i^{+(-)})^2 - \frac{1}{n^{+(-)}} \left(\sum_{i=1}^{n^{+(-)}} x_i^{+(-)} \right)^2 \right]}, \quad (16)$$

где $x_i^{+(-)}$ — i -й результат измерения высокого (низкого) уровня $n^{+(-)}$ — общее количество измерений высокого (низкого) уровня

Далее, вся совокупность измеренных значений данного уровня разбивалась на шесть произвольной длины интервалов так, чтобы в каждом интервале находилось, по крайней мере, пять значений, а затем уточнялось число измеренных значений в каждом интервале $m_j^{+(-)}$. После этого для нормального распределения с $\mu = \bar{X}^{+(-)}$ и $\sigma = S^{+(-)}$ вычислялась вероятность $P_j^{+(-)}$ попадания измеренных значений в j -й интервал соответствующего уровня по формуле

$$P_j = \Phi \left(\frac{b_j - \mu}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{a_j - \mu}{\sigma} \right), \quad (17)$$

где $\Phi(\dots)$ — интегральная функция вероятности, значения которой табулированы в таблице 18.8—9, приведенной в работе [3]; a_j и b_j — соответственно левая и правая границы j -го интервала.

Полученное значение $P_j^{+(-)}$ использовались для определения числа измеренных значений $l_j^{+(-)}$, которые должны были бы попасть в j -й интервал при нормальном распределении:

$$l_j^{+(-)} = n^{+(-)} P_j^{+(-)}. \quad (18)$$

В заключение вычислялось значение χ^2 -критерия и число степеней свободы n_χ для соответствующей локальной выборки по формулам

$$\chi_{+(-)}^2 = \sum_{j=1}^{J^{+(-)}} \frac{(m_j^{+(-)} - l_j^{+(-)})^2}{l_j^{+(-)}}; \quad (19)$$

$$n_\chi^{+(-)} = J^{+(-)} - 1, \quad (20)$$

где $J^{+(-)} = 6$ — количество интервалов разбиения локальной выборки для высокого (низкого) уровня.

По диаграмме, приведенной в работе [2], проверялось попадание точки, координатами которой служат значения χ^2 и n_f , в область подтверждения правильности гипотезы о нормальности при значении доверительной вероятности 95 %. Тщательный анализ по изложенной выше методике подтвердил правильность гипотезы о нормальности распределений экспериментально полученных результатов измерений каждого уровня КС, а следовательно, и значений КУ канала. Затем в соответствии с методом, рассмотренным в работе [2], определялись доверительные границы статистической погрешности для среднего значения КУ. Для этих целей использовалось t -распределение Стьюдента. Вначале выбиралось значение доверительной вероятности $P=95\%$. Затем с учетом того, что КУ представляет собой модуль разности средних значений высокого и низкого уровня КС, вычислялось выборочное отклонение значений данного коэффициента по формуле

$$S = \sqrt{(S^+)^2 + (S^-)^2 - 2 \operatorname{cov} \{\bar{X}^+, \bar{X}^-\}}. \quad (21)$$

Значения S^+ и S^- определялись согласно выражению (16), а значение ковариации задавалось формулой

$$\operatorname{cov} \{\bar{X}^+, \bar{X}^-\} = \sum_{i=1}^n x_i^+ x_i^- - \frac{1}{n_f} \left(\sum_{i=1}^n x_i^+ \sum_{i=1}^n x_i^- \right), \quad (22)$$

где $n = n^+ = n^-$, а $n_f = n - 1$ — число степеней свободы.

По диаграмме, приведенной в работе [2], находилось значение коэффициента c для t -распределения Стьюдента: $c = f(P, n_f)$ (23). В заключение вычислялись доверительные границы статистической погрешности по формуле

$$E_{P=95\%} = \pm \frac{c}{\sqrt{n}} S. \quad (24)$$

По результатам проведенных экспериментов они не превысили $\pm 2,35\%$.

Следовательно, интервал полной погрешности Δ_n , возникающей при определении коэффициента усиления в процессе настройки каждого канала ввода физиологических сигналов в ЭВМ сериями прямоугольных контрольных импульсов произвольной длительности, составил $\pm 4,5\%$.

Список литературы: 1. Домнин Ф. А., Полтавцев В. П., Шаповалов В. А. Программный контроль готовности каналов ввода биосигналов в ЭВМ. — Вестн. Харьк. политехн. ин-та, 1977, № 128. Автоматика и приборостроение, вып. 4, с. 3—5. 2. Измерения в промышленности. Справ. изд. /Под ред. П. Профоса. Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1980. — 648 с. 3. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1978. — 832 с'.

Поступила в редколлегию 06. 12. 83.

А. Н. СТАРЧЕНКО, канд. техн. наук, А. А. РОСЬ, канд. техн. наук,
С А ТЕПЛОВ

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ ДЕДУКТИВНАЯ СИСТЕМА

Опыт разработки и эксплуатации систем организационного управления (СОУ) показывает, что эффективность использования возможностей вычислительной техники для решения информационных и расчетных задач зависит от способа и характера общения лица, принимающего решение (ЛПР), и ЭВМ. Специалисту в области управления целесообразно изучать языки и процедурный стиль программирования современных ЭВМ. С другой стороны, наличие посредников-программистов между конечным пользователем и ЭВМ ухудшает характеристику СОУ. Вследствие этого активно разрабатываются системы диалогового взаимодействия человека с ЭВМ на непроектных языках высокого уровня, в том числе и на ограниченном естественном языке [1—3]. Накоплен также некоторый опыт разработки «интеллектуальных» пакетов прикладных программ (ППП), позволяющих достигнуть высокого уровня организации работ при проведении вычислительных экспериментов пользователем-профессионалом, не обладающим специальными знаниями в области программирования [4, 5].

Чтобы автоматизировать решение задач накопления и поиска информации, логического анализа данных, планирования вычислений и диалогового взаимодействия с ЭВМ на ограниченном предметной областью естественном языке (ОЕЯ), разработаны и продолжают разрабатываться информационно-логические системы (ИЛС) [6, 7]. Разработки ИЛС опираются на результаты исследований вопросно-ответных систем (ВОС). В работах [3, 8, 9] приведены обзоры последних, разработанных в нашей стране и за рубежом.

Информационно-логическая дедуктивная система (ИЛДИС) рассчитана на пользователей-непрофессионалов, обладающих минимальным опытом работы с ЭВМ, и является «интеллектуальным» интерфейсом между человеком, с одной стороны, и проблемно-ориентированным банком данных в совокупности с необходимым ППС при решении прикладных задач в СОУ, с другой. «Интеллектуальность» системы, гибкое использование возможностей, представляемых пользователю, определяется процедурами логического вывода и банком проблемно-ориентированных данных, представляющих собой «знания» ИЛДИС о конкретной прикладной проблеме, записанные на проблемно-ориентированном языке представлений знаний (ПОЯ). Логическая основа ПОЯ — многосортное исчисление предикатов, дополненное вводимыми по определению модально-временными

операторами [10]. Язык взаимодействия между ИЛДИС и пользователем представляет собой ОЕЯ, допускающий прямую и обратную трансляцию в ПОЯ [2].

Состав и структура информационно-логической системы. ИЛДИС включает технические средства, лингвистическое и программное обеспечение. Технические средства представляют собой старшие модели ЕС ЭВМ в совокупности с внешними устройствами, обеспечивающими диалоговый режим работы. Операционной средой для системы является ОС ЕС версии 4.1 и вы-

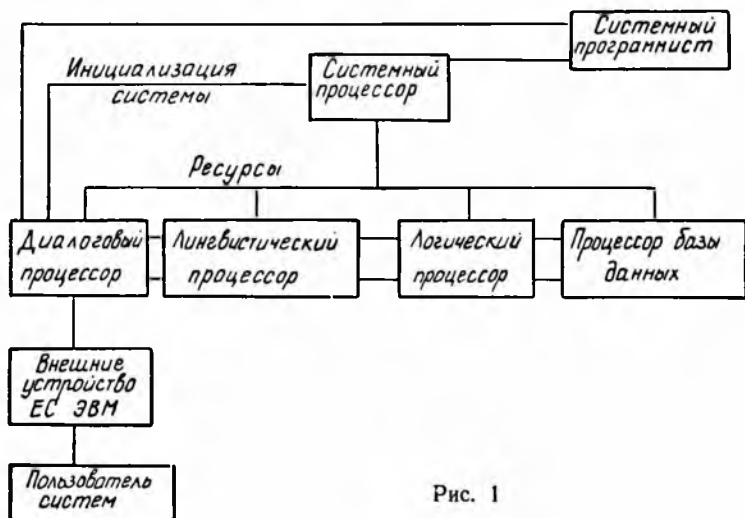


Рис. 1

ше. Лингвистическое обеспечение состоит из ограниченного предметной областью естественного языка взаимодействия пользователя с системой, проблемно-ориентированного языка представления знаний, являющегося внутренним языком ИЛДИС; языков программирования ПЛ-1 и Ассемблер ОС ЕС; языков описания и манипулирования данными СУБД, входящих в состав информационно-логической системы. Программное обеспечение ИЛДИС состоит из комплексов программ, называемых процессорами: системного процессора, диалогового процессора, лингвистического процессора, логического процессора и процессора базы данных. Структура информационно-логической системы приведена на рис. 1.

Основные функции ИЛДИС. К основным функциям системы можно отнести следующие: наполнение баз данных на ограниченном естественном языке, наполнение баз данных на проблемно-ориентированном языке представления знаний; синтаксический и семантический контроль вводимых в систему данных и вопросов; проверка введенных в систему знаний на полноту и непротиворечивость, коррекция введенных в систему знаний; реализация режима диалога при наполнении, проверке

и коррекции знаний; формирование локальных баз данных; трансляция запросов пользователя с ОЕЯ на ПОЯ; получение ответа на стандартный вопрос; выбор соответствующего предметной области и накопленной статистике алгоритма дедуктивного вывода (АДВ); осуществление логического вывода; перевод полученного ответа с ПОЯ на ОЕЯ; реализация интерфейса с СУБД;

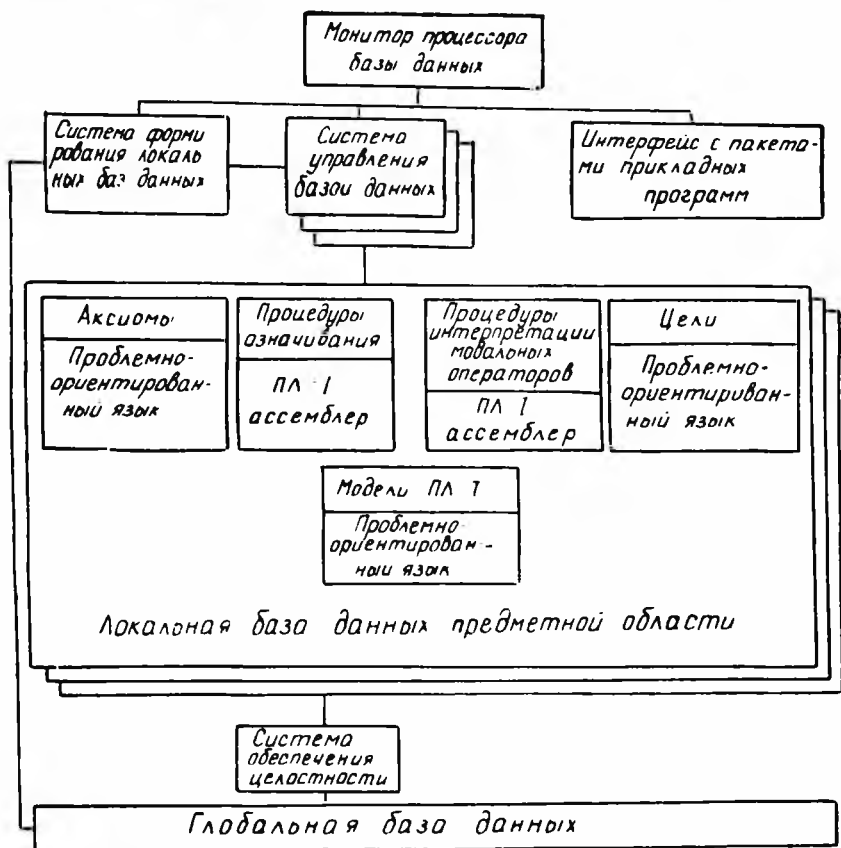


Рис. 2

накапливание статистики о работе системы с целью оптимизации ИЛДИС и адаптации к конкретной проблемной области.

Назначение и функции основных элементов ИЛДИС. Системный процессор управляет ходом вычислительного процесса в информационно-логической системе, распределяет ресурсы между пользователями, процессорами в соответствии с выработанной системой приоритетов; осуществляет перехват управления в случае аварийного завершения работы отдельных процессоров и групп программ, анализирует причины аварийного

завершения и возможность дальнейшей работы системы; подготавливает ИЛДИС к работе, инициализирует управляющие блоки системы; накапливает статистику о работе системы.

Диалоговый процессор реализует функции ввода-вывода для различных внешних устройств ЕС ЭВМ; организует функции интерфейса между пользователями и процессорами ИЛДИС; реализует функции «подсказки» о назначении, возможностях, режимах работы и командах системы.

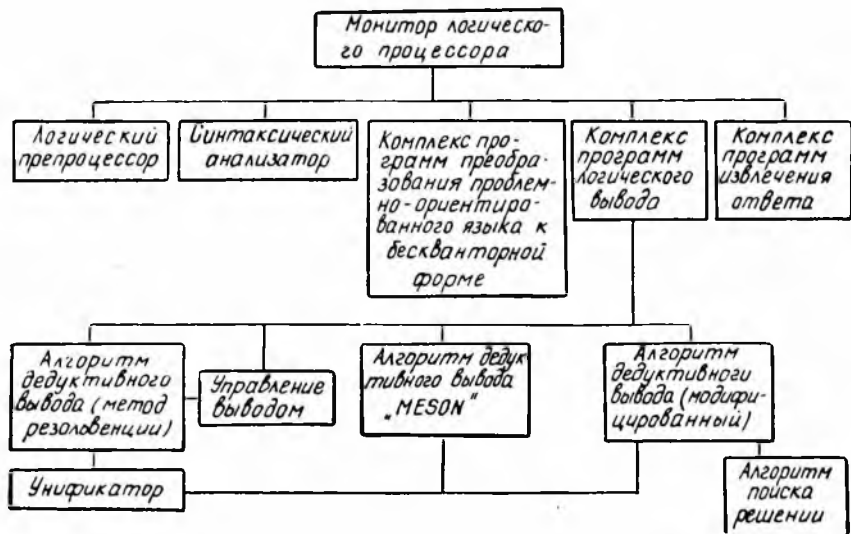


Рис. 3

Лингвистический процессор [2] преобразует предложения ограниченного естественного языка в правильно построенные формулы (ППФ) ПОЯ; преобразует ответы и сгенерированные планы действий, представленные на ПОЯ, в предложения ОЕЯ.

Процессор базы данных (ПБД). Структура комплекса программ процессора базы данных приведена на рис. 2. К основным функциям ПБД можно отнести хранение данных в удобном и компактном виде, обеспечивающем их независимость от обрабатывающих программ; поиск и извлечение требуемых данных; коррекция информации в базах данных; возможность интеграции различных баз данных; модификация и реорганизация баз данных; синтез, соответствующий предметной области и целям работы пользователя локальной предметно-ориентированной базы данных; проверка непротиворечивости локальной и глобальной баз данных; организация интерфейса с пакетами прикладных программ.

Логический процессор (ЛП) (рис. 3) является основным элементом информационно-логической системы и предназначен

для осуществления функций: логического анализа запроса пользователя; синтаксического анализа вопросов и предложений, записанных на ПОЯ; преобразования ППФ ПОЯ к предварительно-нормальной бескванторной форме; выбора соответствующего предметной области вопроса и накопления статистики АДВ; выбора при необходимости тактики логического вывода; формирования запроса к процессору базы данных для синтеза локальной базы данных; проверки корректности и непротиворечивости локальной базы данных; вывода ответа методом прямого означивания; решения задачи логического вывода; формирования ответа.

Представление знаний. Знания ИЛДИС распределены на двух уровнях. Глобальная база данных (ГБД), расположенная на нижнем уровне, представляет собой интеграцию систем баз данных иерархического, сетевого или реляционного типа, в которых хранятся факты и характеристики объектов, процессов и ситуаций. При решении конкретных задач использование обобщенных знаний, хранящихся в глобальной базе данных, нерационально и неэффективно. С другой стороны, хранящиеся в ГБД по своей форме представления не могут быть использованы для поиска решений алгоритмами вывода. Поэтому целесообразно применение иерархической системы представления знаний, верхний уровень которой представляет конкретные локальные базы данных (ЛБД), соответствующие предметным областям и классам решаемых задач.

Система формирования ЛБД в соответствии со сформированным ЛПР запросом к процессору базы данных синтезирует локальную базу данных, транслируя в соответствии с имеющимися описаниями факты и ситуации в правильно построенные предложения ПОЯ. Одновременно ЛБД наполняется описанием отношений, закономерностей (аксиом) и целевых установок, соответствующих классам решаемых задач, и записанных на ПОЯ. Примером закономерности может служить

$$\forall R_1 \forall R_2 \exists t_1 \exists K (\text{НАХ. СОСТ } (S, R_1) \wedge \text{РАСП. РЕС } (S, K) \rightarrow M \uparrow (\text{НАХ. СОСТ } (S, R_2) \wedge T(t, t_1))).$$

Данная аксиома описывает возможность достижения системой S , находящейся в состоянии R_1 и располагающей ресурсом K , состояния R_2 за время t , не большее t_1 . Использование модально-временных операторов позволяет строить формальные модели для планирования действий в динамических средах СОУ, устраняя существенный недостаток логического подхода к представлению знаний в интеллектуальных системах [10, 11].

Поиск решений. Для декларативных моделей представления знаний разработано большое количество методов вывода решений. К их числу относятся обратный метод Маслова [12], метод резолювенций с различными модификациями [8, 13], имплекативный метод вывода [14] и др. Наиболее хорошо изучен

в теоретическом и экспериментальном отношениях метод пропозициональной резолюции Робинсона. Однако ему присущи определенные недостатки [15], ограничивающие степень универсальности. Как показано в работе [16], практический интерес для решения задач логического вывода и построения плана действий по полученному доказательству представляют правила вывода, реализованные в процедуре MESON [14]. Другой базовый метод вывода решений — модификация алгоритма дедуктивного вывода [15]. Одной из функций алгоритма, реализующего данный метод, является выявление противоречий в процессе корректировки и пополнения хранимых в системе знаний. Отсутствие универсальных алгоритмов поиска решений привело к необходимости реализации в логическом процессоре набора базовых процедур логического вывода. Конкретный алгоритм поиска решений на этапе обучения выбирается оператором или автоматически случайным образом с переходом в случае неудачи к другому АДВ. В дальнейшем, по мере накопления статистики об эффективности использования различных методов вывода при решении конкретных прикладных задач, выбор алгоритма дедуктивного вывода система производит автоматически.

Список литературы: 1. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. — М.: Наука, 1982. — 360 с. 2. Судаков Б. Н. О формализованной модели языка для взаимодействия пользователя с ЭВМ. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 43—47. 3. Виноград Т. Программа, понимающая естественный язык. — М.: Мир, 1976. — 294 с. 4. Кахро М. И., Калья А. П., Тыгуэ Э. Х. Инструментальная система программирования ЕС ЭВМ (ПРИЗ). — М.: Финансы и статистика, 1981. — 158 с. 5. Карнов В. Я., Карягин Д. А. Пакеты прикладных программ. — М.: Знание, 1983. — 64 с. 6. Брябрин В. М. Диалоговая информационно-логическая система. — М.: Изд. ВЦ АН СССР, 1977. — 38 с. 7. Пховелишвили М. Г. Построение и применение диалоговых информационно-логических систем. — Тбилиси: Мецниереба, 1982. — 62 с. 8. Хант Э. Искусственный интеллект. — М.: Мир, 1978. — 558 с. 9. Пховелишвили М. Г. Исследование и реализация интеллектуальных банков данных: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: М., 1978. — 223 с. 10. Ярушек В. Е. О формализованной модели планирования действий управляемых объектов в динамической среде. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 88—95. 11. Минский М. Фреймы для представления знаний. — М.: Энергия, 1979. — 152 с. 12. Маслов С. Ю. Обратный метод установления выводимости для логических исчислений. — Тр. мат. ин-та им. З. А. Стеклова, 1968, № 98, с. 3—15. 13. Робинсон Дж. А. Машинно-ориентированная логика, основанная на принципе резолюции. — Кибернет. сборник, 1970, вып. 7, с. 194—218. 14. Loveland D. Automated Theorem Proving: A Logical Basis. — New York, North-Holland Publishing Company, 1978. — 405 p. 15. Ярушек В. Е., Старченко А. Н., Рось А. А. Об одном алгоритме доказательства теорем в исчислении высказываний. — АСУ и приборы автомат. 1983, вып. 65, с. 15—19. 16. Рось А. А. Принципы построения системы автоматизированного синтеза управляющих алгоритмов. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 103—108.

Поступила в редколлегию 15.08.83

К ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВ ПОСТОЯННОЙ ПАМЯТИ НА НЕЙРОПОДОБНЫХ СЕТЯХ

Развитие техники переработки информации вызывает необходимость поиска новых методов и путей построения более эффективных систем памяти. Перспективное направление — использование пороговых элементов (ПЭ), для которых сигнал на выходе определяется выражением

$$x_k = 1, \text{ если } \sum_{i=1}^n a_i x_i \geq \theta \quad (1); \quad x_k = 0, \text{ если } \sum_{i=1}^n a_i x_i < 0, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ — номер входа ПЭ; n — число входов ПЭ; x_i — сигнал на i -м входе ПЭ; a_i — вес i -го входа в ПЭ.

Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) характеризуются однократной последовательной записью информационного массива и возможностью многократного произвольного считывания. Это дает возможность с позиции функционального подобия рассматривать и выполнять ПЗУ как обучаемые системы распознавания (СР), в которых последовательный процесс обучения распознаванию может быть предоставлен эквивалентным процессу последовательной записи информации в ПЗУ, а процесс распознавания

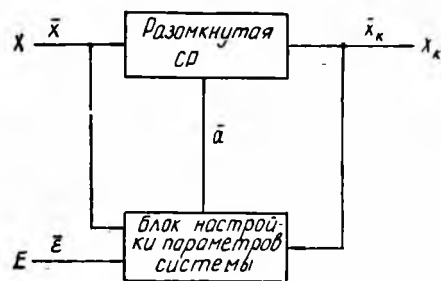


Рис. 1

входного образа — считыванию информации [1]. На рис. 1 приведена схема ПЗУ как обучаемой системы распознавания образов. Пространством входных образов X будем считать пространство, содержащее массив адресных кодов \bar{x} , пространством классов E (указаний учителя) — пространство, содержащее массив информационных кодов $\bar{\epsilon}$, подлежащих записи, а пространством решений X_k — пространство, содержащее массив кодов считанной информации \bar{x}_k . При этом для ПЗУ как СР при считывании должно всегда выполняться условие $\bar{x}_k = \bar{\epsilon}$.

Как показал анализ, ПЗУ наиболее целесообразно выполнять с разрядной архитектурой (рис. 2), при которой структура строится из N^* базовых СР с двумя решениями (разделение в каждой разрядной базовой СР на два класса 0 или 1), где N^* — количество разрядов многомерного выходного двойного вектора \bar{x}_k (разрядность информационного слова). Наиболее эффективны для ПЗУ многослойные сети ПЭ (МС ПЭ) с фиксированными ве-

сами и переменным порогом [2]. Решение задачи организации на таких сетях оптимальной структуры отдельной разрядной СР ПЗУ состоит в следующем.

Пусть на адресный вход ПЭ (разрядной СР ПЗУ) поступает последовательность многомерных N -разрядных векторов адреса $\bar{x}_0, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{L-1}$, код которых изменяется по счетчику. Чтобы вектора \bar{x} можно было взаимно отделить, достаточно, чтобы,

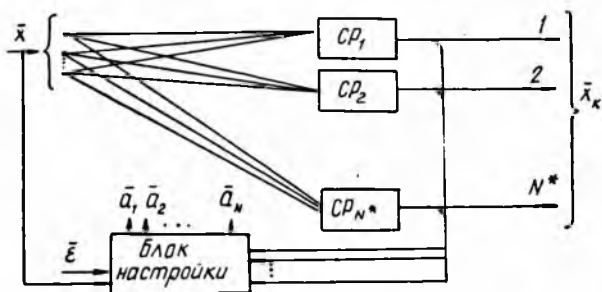


Рис. 2

например, для каждого из них была разная сумма произведений входных адресных переменных и весов на входе ПЭ, т. е.

$$g = \sum_{i=1}^n a_i x_{i\alpha} - \sum_{i=1}^n a_i x_{i(\alpha-1)} = a_n - \sum_{i=1}^{n-1} a_i, \quad (3)$$

где a_n — вес n -го входа ПЭ; $i=1, 2, \dots, n$ — номер входа ПЭ, соответствующий номеру разряда кода адреса ($n=N$); α — порядковый номер вектора \bar{x} в последовательности. При этом для получения постоянной разницы между суммами необходимо выполнение условия

$$g = \text{const} = a_n - \sum_{i=1}^{n-1} a_i = a_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-2} a_i; \quad (4)$$

$$a_n - a_{n-1} - \sum_{i=1}^{n-2} a_i = a_{n-1} - \sum_{i=1}^{n-2} a_i. \quad (5)$$

Тогда значения фиксированных весов ПЭ для различной разрядности адреса \bar{x} можно определить из выражения $a_n = 2^{n-1} \times a_1$ (6). Приняв вес первого входа ПЭ $a_1 = 1$, получим $a_1 = 1$, $a_2 = 2$, $a_3 = 4$, $a_4 = 8$ и т. д.

Пусть входную последовательность необходимо разделить на две группы, 0 и 1, т. е.

$\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_p, \bar{x}_{p+1}, \dots, \bar{x}_l, \bar{x}_{l+1}, \dots, \bar{x}_{L-1}$ — входная последовательность адресов;

$\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_p$ — первая группа векторов, для которой $x_k = \varepsilon = 0$;

$\bar{x}_{p+1}, \dots, \bar{x}_f$ — вторая группа векторов, для которой $x_k = \varepsilon = 1$;
 $\bar{x}_{f+1}, \dots, \bar{x}_{L-1}$ — вектора, относящиеся к первой группе, для
 них $x_k = \varepsilon = 0$.

Для ЗУ это равноценно записи по адресам первой группы логического нуля, а по адресам второй — логической единицы. Приняв порог ПЭ $\Theta' = F' = p + 1$ (где $p + 1$ — порядковый номер вектора), получим

$$x_{k(p+1)} = 1 \text{ при } \sum_{i=1}^n a_i x_{i(p+1)} = F'. \quad (7)$$

Для всех векторов, находящихся в последовательности до вектора $p + 1$, на выходе ПЭ будет 0, а после вектора $p + 1$ — единица. Это нас удовлетворяет до вектора $f + 1$, с которого вновь вектора должны относиться к первой группе (0). Взяв другой ПЭ с $\Theta'' = F''$ (при этом $F'' > F'$ и $F'' = f + 1$), получим для векторов, начиная с $f + 1$ -го, на его выходе 1 и для векторов, порядковый номер которых меньше $f + 1$, — ноль. На рис. 3 изображена схема объединения элементов

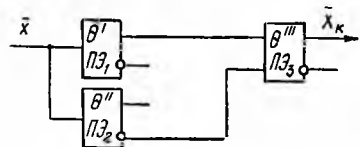


Рис. 3

разрядной сети ПЗУ. Если теперь объединить два ПЭ с порогами Θ' и Θ'' так, как это показано на рисунке, то получим на выходе ПЭ₃ с порогом Θ''' , реализующим функцию «И», требуемое разделение исходной адресной последовательности. Таким образом, организовав структуру сети ПЭ в соответствии с описанным методом, можно получить любое разделение наборов переменных. Так как для ПЗУ априори известна структура пространства указаний учителя E (массив записываемой информации), то, выполняя ПЗУ в виде $N^* \text{СР}$ с двумя решениями, всегда можно для отдельного разряда ПЗУ (разрядной СР) построить такую параллельную сеть из однотипных ПЭ, которая будет разделять адресный массив на два класса с $P_{\text{прав}} = 1$. Емкость памяти при этом: $M_1 = 2^n \cdot N$ (бит). Информация при записе (синтезе) фиксируется в структуре МС ПЭ и при выключении питания сохраняется.

Синтез ПЗУ на МС ПЭ осуществляется по следующему алгоритму:

1. Определяется количество разрядных СР, которое равно N^* , где N^* — разрядность информационного слова.
2. Осуществляется совместный анализ пространства входных образов (адресов) X , состоящего из L N -разрядных векторов, и пространства указаний учителя E , состоящего из L N^* -разрядных информационных слов. В результате анализа поразрядно определяется принадлежность каждого образа к соответствующему бинарному классу и формируются N^* вспомогательных массивов ЕТ одноразрядных информационных слов.

3. Для разрядных СР определяются параметры сети и ПЭ.

4. На основании полученных данных осуществляется построение ПЗУ по рассмотренным выше правилам формирования структуры разрядной сети СР.

Для автоматизации проектирования и исследования была разработана программа синтеза ПЗУ на пороговых элементах (SPZU), написанная на языке ПЛ/1. На вход программы подается информационный массив, на выход программы выдаются сообщения о параметрах исходного информационного массива; количестве разрядных СР; количестве ПЭ каждой разрядной СР; количестве входов ПЭ; значениях порогов ПЭ.

Весы входов ПЭ фиксированы и имеют значения $\alpha = 1, 2, 4, \dots, 2^N$, где N — разрядность адреса ($N=n$); $i=1, 2, \dots, n$ — вход ПЭ). Пример сообщения, выводимого на печать для одной разрядной СР, имеет, например, следующий вид: ПЕРВАЯ СР СОДЕРЖИТ 2 ПАРЫ ПЭ С ПОРОГАМИ 1,5—7,8. РАЗРЯДНЫЙ ИНФ МАССИВ 011110010.

Сложность структуры рассматриваемых нами ПЗУ на МС ПЭ с фиксированными весами и переменным (настраиваемым в период машинного синтеза) порогом во многом зависит от распределения информации по разрядам, однако, как показал анализ, наличие определенных граничных значений порогов ПЭ и конечной длины записываемого информационного массива позволяет осуществлять некоторую минимизацию синтезированной структуры разрядных сетей.

При этом задача минимизации может быть решена путем исключения из структуры разрядной сети пороговых элементов с фиктивными (физически нереализуемыми) значениями порогов, получаемых в результате синтеза на границах информационной последовательности в зависимости от дискретных значений начального и конечного одноразрядного слова массива ЕТ.

Задача минимизации решается для трех граничных вариантов структуры массива ЕТ при произвольном распределении информации в пределах массива и для двух вариантов однородной структуры того же массива, состоящего из всех нулей либо из всех единиц. На рис. 4 — примеры минимизированной структуры разрядной сети ПЗУ. Решение задачи покажем на конкретных вариантах структуры массива ЕТ.

1. Массив ЕТ имеет структуру 1, 1, 0, 1, 0, т.е. начинается с единицы, а кончается нулем. Пороги двух пар ПЭ, полученные в результате программного синтеза, будут иметь следующие значения: $\theta_1 = 0$; $\theta_2 = 2$; $\theta_3 = 3$; $\theta_4 = 4$. Здесь значение порога ПЭ₁, равное нулю, можно считать фиктивным, а сам ПЭ₁ — мнимый и физически не реализуется. Тогда для первой пары необходимо использовать только один ПЭ₂ с порогом $\theta_2 = 2$, а сигнал снимать с инверсного выхода (рис. 4, а). Длина L массива ЕТ незначительна и может принимать значения $L \leq 2^N$, где N — число разрядов

адреса, равное числу входов n ПЭ, т.е. для данного примера $n = N = 3$.

2. Массив ЕТ имеет структуру 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, т.е. начинается нулем, а кончается единицей. Тогда пороги двух пар ПЭ будут иметь значения: $\theta_1 = 1$; $\theta_2 = 3$; $\theta_3 = 4$; $\theta_4 = 8$. Длина массива

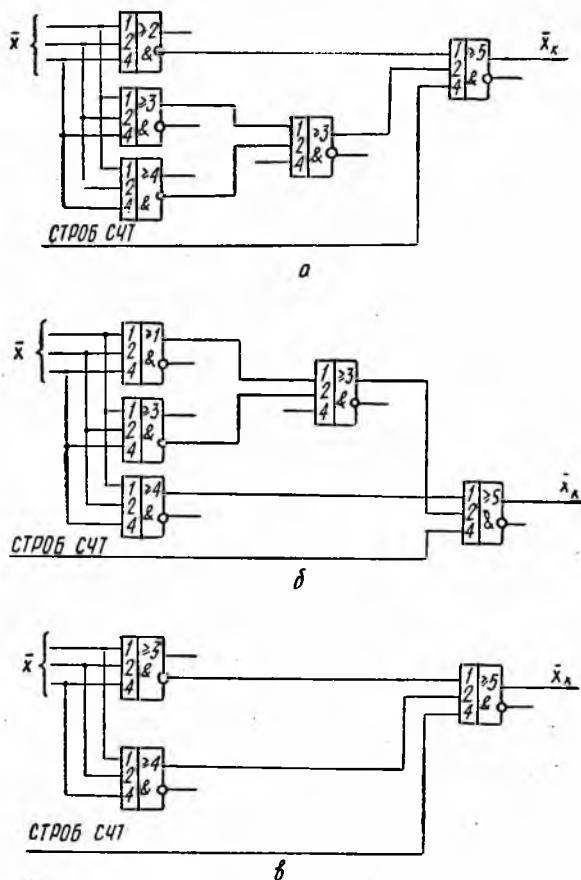


Рис. 4

ЕТ здесь равна максимально возможной емкости данного ПЗУ, определяемой разрядностью адреса или числом входов ПЭ, т.е. $L = 2^N = 8$ (при $n = N = 3$). При этом значение порога ПЭ₄, равное 8, фиктивно, так как для восьми слов ПЭ имеет максимальное значение суммы произведений входных адресных сигналов на соответствующие веса, равное семи, т.е.

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i = 7.$$

Поэтому вместо второй пары ПЭ необходимо использовать только ПЭ₃ с порогом $\theta_3 = 4$. Сигнал при этом снимается с прямого выхода ПЭ. (рис. 4, б).

3. Массив ЕТ принимает вид 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, т. е. начинается и кончается единицей, а $L = 2^N$ при $n = N = 3$. Пороги ПЭ для этого варианта структуры массива будут иметь значения $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 3$, $\theta_3 = 4$, $\theta_4 = 8$. Каждая пара ПЭ имеет здесь по одному фиктивному порогу θ_1 и θ_4 . В этом случае структура минимизированной разрядной сети будет соответствовать изображенной на рис. 4, в.

4. Массив ЕТ состоит из всех нулей, $L = 2^N$ и $n = N$. Разрядная сеть пороговых элементов при этом заменяется подключением к соответствующему выходу ПЗУ фиксированного источника логического нуля, что равноценно записи в данном разряде ПЗУ нуля по всем адресам. Если массив ЕТ ограничен нулями, но внутри последовательности имеются единицы и распределение информации произвольно, то структура сети не минимизируется.

5. Массив ЕТ состоит из всех единиц, $L = 2^N$ и $n = N$. Здесь пара ПЭ обладает фиксированными порогами и разрядная сеть заменяется подключением к соответствующему выходу ПЗУ фиксированного источника логической единицы.

Таким образом, в результате предложенного решения задачи минимизации значительно упрощается структура разрядных сетей и ПЗУ в целом, что особенно существенно при их физической реализации.

Для примера на рис. 5 представлен график зависимости числа элементов памяти от структуры информационного массива ЕТ. Он показывает для синтезированной структуры ПЗУ емкостью 8 слов разрядностью 4 требуемое при реализации одноразрядных модулей памяти число булевых элементов БЭ (кривая 1, типовое ПЗУ по классическим схемам), число ПЭ в неминимизированной структуре (кривая 2) и число ПЭ после минимизации структуры (кривая 3). Как видно из графиков (см. рисунок и таблицу), ПЗУ с минимизированной нейроразрядной структурой по числу используемых элементов значительно более эффективно, чем типовые на БЭ. Причем преимущества с ростом емкости памяти растут.

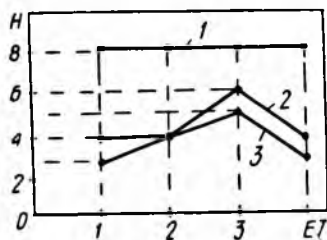


Рис. 5

ET ₁	ET ₂	ET ₃	ET ₄
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
1	1	1	0
0	0	1	0

Список литературы: 1. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов. — М.: Энергия, 1974. — 150 с. 2. Кирсанов Э. Ю. К задаче классификации и анализа путей построения систем памяти в базисе пороговой логики. — Техника средств связи. Сер. СС, 1981, вып. 3. — 10 с.

Поступила в редколлегию 10.11.83.

УДК 658.012.011.56:681.5

Л. М. САЛИКОВ, А. Я. МАЗАЛОВ, В. И. КАДУЛИН, Т. Г. МАЩЕНКО,
канд. техн. наук

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Разностные уравнения, описывающие процессы в широтно-импульсных системах второго рода, нелинейны при работе системы на участке линейности модуляционной характеристики широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Известно [1, 2], что даже малые нелинейности способны оказать существенное влияние на процесс регулирования. Их учет в ряде случаев необходим.

Оценим влияние малых нелинейностей на норму решения системы разностных уравнений:

$$\begin{cases} X_{n+1} = DX_n + B\Phi_n, \\ C_n^T X_{n+1} = -\sigma_n, \end{cases} \quad (1)$$

где X_n — вектор состояния непрерывной линейной части; $D = \text{diag}\{d_v\}$; $B = \text{diag}\{b_v\}$ — постоянные матрицы; Φ_n, C_n — векторы размерности m , элементы которых зависят от переменной σ_n .

Уравнениями такого вида описываются процессы в широтно-импульсных системах второго рода.

Приведем систему уравнений (1) к одному уравнению в векторной форме:

$$\begin{aligned} X_{n+1} &= A_n X_n, \\ A_n &= D - \frac{1}{\sigma_n} B\Phi_n C_n^T. \end{aligned}$$

При работе ШИМ на участке линейности модуляционной характеристики нелинейности малы и матрицу A_n можно представить в виде суммы постоянной матрицы A и малой переменной ΔA_n :

$$X_{n+1} = A_n X_n + \Delta A_n X_n. \quad (2)$$

Введем в рассмотрение норму решения $\|X_n\| = X_n^* G X_n$, где G — эрмитова матрица, которую выберем позже.

На основании уравнения (2) находим

$$\|X_{n+1}\| = X_n^* (\overline{A}GA + \overline{\Delta A_n}GA + \overline{A}G\Delta A_n + \overline{\Delta A_n}G\Delta A_n) X_n.$$

Воспользуемся неравенством

$$X_n^* (\overline{\Delta A_n} GA + \overline{AG} \Delta A_n) X_n < X_n^* \left(\frac{1}{\lambda} \overline{AGA} + \lambda \overline{\Delta A_n} G \Delta A_n \right) X_n, \quad \lambda > 0,$$

которое вытекает из тождества

$$\begin{aligned} X_n^* \left(\frac{\overline{A}}{\sqrt{\lambda}} - \sqrt{\lambda} \overline{\Delta A_n} \right) G \left(\frac{A}{\sqrt{\lambda}} - \sqrt{\lambda} \Delta A_n \right) X_n = \\ = X_n^* \left(\frac{\overline{AGA}}{\lambda} + \overline{\Delta A_n} G \Delta A_n \lambda - \overline{AG} \Delta A_n - \overline{\Delta A_n} GA \right). \end{aligned}$$

С помощью неравенства выражение для нормы $\|X_{n+1}\|$ упрощается:

$$\|X_{n+1}\| \leq \overline{X}_n \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \overline{AGA} + (1 + \lambda) \overline{\Delta A_n} G \Delta A_n \right] X_n.$$

Здесь λ — произвольное положительное число

В качестве матрицы G выберем $G = \overline{T}T$, где T — фундаментальная матрица, приводящая A к диагональной форме:

$$TAT^{-1} = \Lambda = \text{diag} \{ \lambda_i \}$$

Приведение A к диагональной форме возможно, если матрица имеет различные собственные числа. Это условие в данной задаче легко выполнить в силу произвола в выборе матрицы A . Норму перепишем в виде

$$\begin{aligned} \|X_{n+1}\| \leq (\overline{TX}_n) \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \overline{T^{-1}AT} \cdot TAT^{-1} + (1 + \right. \\ \left. + \lambda) \overline{T^{-1} \Delta A_n T^{-1}} \right] (TX_n) = (\overline{TX}_n) \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \text{diag} \lambda_i^2 + (1 + \right. \\ \left. + \lambda) T^{-1} \overline{\Delta A_n} \overline{T} T \Delta A_n T^{-1} \right] (TX_n). \end{aligned}$$

Оценим величину

$$\begin{aligned} T = (\overline{TX}_n) [\overline{T^{-1} \Delta A_n} \overline{T} T \Delta A_n T^{-1}] (TX_n) \leq \\ \leq (|TX_n| \|T\| \|T^{-1}\| \|\Delta A_n\|)^2; |TX_n| = \overline{X}_n \overline{T} T X_n = \\ = \overline{X}_n G X_n = \|X_n\|. \end{aligned}$$

В качестве нормы матрицы выберем наибольшее сигнулярное число, равное квадратному корню из наибольшего собственного числа произведения матрицы на эрмитово ей сопряженную. Так, нормой матрицы T будет наибольшее число μ , удовлетворяющее уравнению

$$\det [\overline{T}T - \mu E] = \det [T\overline{T} - \mu E] = 0.$$

Тогда $\|T^{-1}\|$ — наибольшее число, удовлетворяющее уравнению

$$\det [\overline{T^{-1}T^{-1}} - \|T^{-1}\| E] = 0$$

или

$$\det \left[\frac{1}{\|T^{-1}\|} - T\bar{T} \right] = 0.$$

Следовательно, если нормой матрицы является наибольшее сингулярное число, то нормой матрицы T будет наименьшее сингулярное число. Обозначим в соответствии с этим $\|T\| = \mu_{\max}$, $\|T^{-1}\| = \mu_{\min}$.

Выражение T оценивается неравенством

$$T \leq \left(\frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} \|\Delta A_n\| \right)^2 \|\bar{X}_n\|.$$

В целом с учетом данного неравенства для нормы $\|X_{n+1}\|$ имеем оценку

$$\|X_{n+1}\| \leq \|X_n\| \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \max \lambda_v^2 + \left(\frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} \|\Delta A_n\|\right)^2 (1 + \lambda) \right].$$

Отсюда находим

$$\|X_n\| \leq \|X_0\| \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \max \lambda_v^2 + \left(\frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} \|\Delta A_n\|\right)^2 (1 + \lambda) \right]^n. \quad (3)$$

Данная оценка позволяет судить о качестве переходных процессов и о влиянии нелинейностей на скорость затухания переходного процесса. Число λ в указанном неравенстве можно принять любым, однако целесообразно выбрать его по условиям минимизации правой части неравенства. Тогда удается приблизиться в соотношении (3) к равенству в наибольшей степени. Экстремальное значение λ находится дифференцированием выражения в квадратных скобках по λ . После подстановки оптимального λ в (3) получаем окончательно

$$\|X_n\| \leq \|X_0\| \left[\max \lambda_v + \frac{\mu_{\max}}{\mu_{\min}} \|\Delta A_n\| \right]^{2n}. \quad (4)$$

При вычислении оценки (4) наибольшую трудность представляет определение собственных чисел преобразующей матрицы T . Для упрощения этой процедуры целесообразно хотя бы располагать аналитическим выражением для элементов матрицы T .

Покажем, что матрица вида $A = D + BC^T$, $B = \text{colon} \{b_v\}$, $C = \text{colon} \{1_v\}$, использование которой в данной задаче наиболее вероятно, имеет собственные числа λ , определяемые из уравнения

$$1 + \sum_{v=1}^m \frac{b_v}{d_v - \lambda} = 0, \quad (5)$$

и собственные векторы-строки вида

$$X^T = \left\{ \frac{1}{d_{1-\lambda}}, \frac{1}{d_{2-\lambda}}, \dots, \frac{1}{d_{m-\lambda}} \right\},$$

Действительно,

$$\begin{aligned} X^T D + X^T B C^T &= \left\{ \frac{d_v}{d_{v-\lambda}} \right\} + \sum_{v=1}^m \left\{ \frac{b_v}{d_{v-\lambda}} \right\} C^T = \\ &= \left\{ \frac{d_v}{d_{v-\lambda}} + \sum_{v=1}^m \frac{b_v}{d_{v-\lambda}} \right\} = \lambda \left\{ \frac{d_v}{d_{v-\lambda}} \right\}. \end{aligned}$$

Отсюда сразу следует, что матрица T , состоящая из собственных векторов-строк, имеет вид $T = \|t_{ij}\|$, где i — номер строки; j — номер столбца, а $t_{ii} = \frac{1}{d_i - \lambda_i}$.

Решив характеристическое уравнение (5), можно сразу составить матрицу T , после чего приступить к определению собственных чисел матрицы TT . Заметим, что при решении данной задачи ΔA_n допустимо эрмитову норму матрицы ΔA_n заменять евклидовой нормой, равной корню квадратному из суммы квадратов элементов матрицы. Возможно для оценки собственных чисел матрицы $\overline{\Delta A_n} \Delta A_n$ пользоваться известными критериями локализации характеристических чисел матриц.

Полученные соотношения позволяют дать оценки качества переходного процесса только при работе модулятора в зоне линейности модуляционной характеристики.

Список литературы: 1. Геращенко Е. И., Геращенко С. М. Метод разделения движений и оптимизация нелинейных систем.— М.: Наука, 1975.— 247 с. 2. Андин Р. Б. Анализ импульсных систем, содержащих линейные элементы.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 395 с.

Поступила в редколлегию 15.11.83.

УДК 681.327.22

А. В. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук, Ю. М. ГОНЧАРОВ

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПУЛЬТОВЫХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Применение в качестве экранных пультов (ЭП) газоразрядных индикаторных панелей переменного тока (ГИППТ) — перспективное направление развития систем отображения информации (СОИ). Основные достоинства этих ЭП: отсутствие нелинейных искажений изображения; отсутствие мерцания изображения; отсутствие необходимости регенерации изображения; высокая надежность отображения; возможность наращивания экранов практически до любой информационной емкости.

В качестве устройств управления (УУ) ЭП используется микро-ЭВМ или микропроцессоры. Однако такое устройство

управляет работой нескольких ЭП, работающих независимо друг от друга. Случайный характер поступающих запросов на отображение требует принятия мер для их обслуживания при наиболее эффективном использовании УУ. Чтобы провести анализ качества функционирования многопультной СОИ (МП СОИ), можно представить ее в виде разомкнутой одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с ожиданием. В качестве обслуживающего прибора выступает УУ с группой ЭП. Очередь организуется в памяти УУ. Современные микро-ЭВМ позволяют без особых трудностей организовать динамическую очередь с числом мест для ожидания порядка сотен. Определенная дисциплина выбора заявок из очереди реализуется программно. Поток обслуживания заявок характеризуется временем отображения символов на ЭП. Это время складывается из следующих этапов:

Времени построения в памяти УУ «образа» отображаемого символа. Оно определяется быстродействием процессора микро-ЭВМ, ее загрузкой, а также эффективностью функционирования программного обеспечения.

Времени собственно построения изображения на экране. Оно определяется в основном инерционностью ЭП.

Значение времени отображения символов в общем случае — случайная величина. При большой мощности входного алфавита, принятого в системе, и большом значении количества (N) экранов, управляемых одним УУ, можно с достаточной степенью точности считать, что время обслуживания заявок распределено по показательному закону с параметром μ :

$$f(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}, \quad (t > 0),$$

где $\mu = \frac{1}{\bar{t}_0}$ — интенсивность потока обслуживания; \bar{t}_0 — среднее время отображения одного знака на ЭП.

К рассматриваемой СМО поступает входной поток, образованный суммированием N потоков. Каждый i — й поток представляет собой поток требований на отображение информации на i -м ЭП ($i = \overline{1, N}$).

Во многих задачах прикладного характера замена пуассоновских потоков пуассоновскими с теми же интенсивностями приводит к решению, которое мало отличается от истинного [1]. Поэтому при построении аналитической модели МП СОИ будем считать, что суммируемые потоки требований — пуассоновские и сравнимые по интенсивности. В этом случае, согласно предельной теореме для суммарного потока, на вход СМО поступает пуассоновский поток с интенсивностью $\Lambda = N \cdot \lambda$, где λ — интенсивности суммируемых потоков.

В связи с изложенным выше для исследования данной МП СОИ необходимо использовать результаты, полученные при определении

характеристик функционирования одноканальной СМО с ожиданием и неограниченным числом мест в очереди [2]. К указанным характеристикам относятся среднее время пребывания заявки в системе \bar{t}_c ; среднее относительное время простоя системы k_p ; среднее число заявок, ожидающих начала обслуживания \bar{r} ; среднее время пребывания заявки в очереди $\bar{t}_{ож}$.

По перечисленным отдельным параметрам функционирования системы трудно судить об эффективности системы в целом. Это следует из того, что попытки изменения параметров в лучшую сторону являются противоречивыми. Так, например, для уменьшения среднего времени пребывания заявки в системе необходимо уменьшать количество экранов, подключаемых к микро-ЭВМ. При этом, однако, увеличивается коэффициент простоя дорогостоящего устройства — микро-ЭВМ.

Предлагается ввести обобщенный критерий максимального быстродействия системы при минимальном простое оборудования. В качестве численной оценки эффективности МП СОИ по такому критерию введем

$$c = c_1 \cdot t_c + c_2 \cdot k_p. \quad (1)$$

Значение множителя c_1 показывает степень влияния на эффективность системы времени прохождения заявки от момента ее поступления из источника информации до момента отображения на экране. Коэффициент c_2 показывает степень влияния на эффективность системы простоя микро-ЭВМ.

Выбор значений коэффициентов c_1 , c_2 производится с учетом конкретных требований, предъявляемых к МП СОИ по быстродействию, экономичности и т. д.

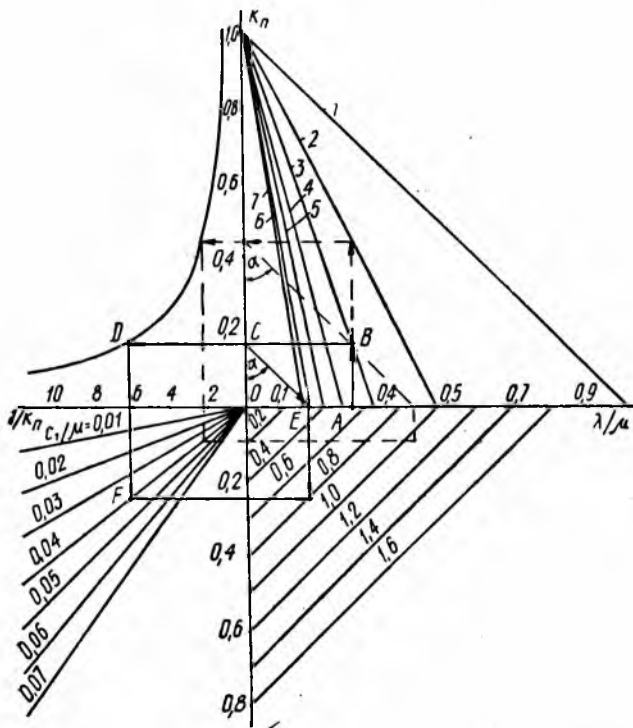
В качестве основных параметров для оценки эффективности системы выбраны \bar{t}_c и k_p . Это объясняется тем, что остальные параметры или менее важные, или учитываются в выбранных параметрах. Например, такой параметр, как среднее число заявок в очереди, наиболее важный для систем, реализованных в схемах с жесткой логикой, в данной системе благодаря большому объему оперативной памяти микро-ЭВМ оказывает малое влияние на эффективность системы в целом. С другой стороны, этот параметр определяет более существенную характеристику функционирования системы — среднее время ожидания заявки в очереди $\bar{t}_{ож}$. Однако это влияние учитывается в параметре \bar{t}_c : $\bar{t}_c = \bar{t}_{ож} + \bar{t}_o$, где \bar{t}_o — среднее время обслуживания заявки.

Из анализа выражения (1) следует, что оптимальное количество ЭП, подключаемых к одной микро-ЭВМ, соответствует минимальному значению параметра c .

С учетом формул, полученных в работе [2] для соответствующей СМО, формула (1) примет вид

$$c = \frac{c_1}{\mu \cdot \left(1 - N \frac{\lambda}{\mu}\right)} + c_2 \left(1 - N \frac{\lambda}{\mu}\right). \quad (2)$$

Применение для расчетов формулы (2) связано с проведением довольно большого объема вычислений. В инженерной практике для более быстрой оценки эффективности си



стемы по предлагаемому критерию при известных значения интенсивностей входного потока и потока обслуживания, также заданных значениях коэффициентов c_1 , c_2 целесообразно воспользоваться специальной номограммой, приведенной на рисунке. С помощью этой номограммы удобно также производить сравнение эффективностей различных вариантов комплектровки СОВ экранами.

Методика применения номограммы состоит в следующем. На оси $\frac{\lambda}{\mu}$ определяют точку, соответствующую исходному отношению $\frac{\lambda}{\mu}$ (точка А). Из этой точки проводят прямую, перпендикулярную

оси $\frac{\lambda}{\mu}$, до пересечения с прямой, соответствующей количеству ЭП, обслуживаемых одной микро-ЭВМ (точка B). От этой точки проводят прямую до пересечения с гиперболой, расположенной во втором квадранте (точка D). Эта прямая пересекает ось k_n в точке C . Из этой точки под углом α к оси k_n необходимо провести прямую до пересечения с осью $\frac{\lambda}{\mu}$ (точка H). Значение угла α определяется из выражения $\operatorname{tg} \alpha = c_2$. Из точки D в направлении первого квадранта проводят прямую до пересечения с одним из лучей, соответствующим значению отношения $\frac{c_1}{\mu}$ (точка F). Наконец, из точки F в сторону четвертого квадранта проводят прямую, параллельную оси $\frac{\lambda}{\mu}$, а из точки E — прямую, перпендикулярную этой же оси. Точка пересечения прямых (точка G) принадлежит некоторому геометрическому месту точек, соответствующих искомому значению параметра c .

В качестве примера на номограмме показано определение значения параметра c для $\frac{\lambda}{\mu} = 0,28$; $\frac{c_1}{\mu} = 0,04$, $c_2 = 1$ при $N = 2$ и $N = 3$. С помощью номограммы получены значения $c/N = 2 \cong \cong 1,05$; $c/N = 3 \cong 0,82$.

Следовательно, в МП СОИ, управляемой одной микро-ЭВМ, целесообразно использовать три экранных пульта. При этом достигается наибольшая эффективность функционирования системы.

Предлагаемый графоаналитический способ расчета целесообразно использовать в инженерной практике при проектировании МП СОИ. Достоинством этого способа является его простота, наглядность, отсутствие дополнительных расчетов.

Список литературы: 1. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. — М.: Машиностроение, 1969. — 324 с. 2. Венцель Е. С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972. — 552 с.

Поступила в редколлегию 15.08.83

УДК 62.506.2

В. И. НОВОЖИЛОВ, канд. техн. наук

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ИСТОЧНИКОВ В ОБЪЕМЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ПРОСТРАНСТВЕННОМУ СПЕКТРУ ФОНОВОГО БИОПОТЕНЦИАЛА

Анализируя функциональную организацию головного мозга по результатам многоканальной регистрации фонового биопотенциала (б. п.) (энцефалографировании и топоскопировании), мы испытываем трудности при интерпретации резуль-

татов измерений, связанные с недостаточной информативностью этих методов.

Биопотенциал, регистрируемый электродами, — результат суммарного влияния всех источников, распределенных в объеме головного мозга. Можно выделить или очень интенсивные, или близко расположенные источники.

При наружных измерениях область, занятая источниками, расстояния которых от электрода соизмеримы, оказывается значительных размеров, так что становится возможной идентификация только очень интенсивных сосредоточенных источников. Регистрация б. п. при снятии электроэнцефалограммы ЭЭГ и топограммы в используемых схемах эксперимента проводится на одной поверхности, что недостаточно для восстановления распределения электрической активности в объеме. Это — принципиальный недостаток указанных методов. Сущность рассматриваемого способа исследования электрической активности — устранение ограничивающих недостатков путем измерения б. п. в объеме, заполненном проводящей средой, и последующее восстановление распределения источников посредством решения соответствующей обратной задачи. Проводящая среда находится в электрическом контакте с головным мозгом.

Возможности такого косвенного эксперимента зависят от выбора области и точности проводимых измерений. Распределение плотности источников и распределение б. п. связаны уравнением Пуассона, которое в прямоугольной системе координат имеет вид

$$\frac{\partial^2 u_1(x_1, y_1, z_1)}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u_1(x_1, y_1, z_1)}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2 u_1(x_1, y_1, z_1)}{\partial z_1^2} = \\ = \frac{1}{\epsilon_0} \rho(x_1, y_1, z_1), \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{к}^2}{\text{н} \cdot \text{м}^2}.$$

Рассмотрим уравнение (1) для однородной среды, включая в величину $\rho(x_1, y_1, z_1)$ источники, возникающие в результате неоднородности проводимости и диэлектрической проницаемости. Влияние электрического заряда, индуцированного на границе объема, учитывается с помощью граничных условий.

Оценивать возможность восстановления структурных особенностей распределения источников (наличие пиков, минимумов и т. д.) удобно в относительных единицах. В качестве характерной длины возьмем $l_0 = 0,1$ м, а характерного потенциала — $u_0 = 150$ мкв = $1,5 \cdot 10^{-4}$ в, равного приблизительно амплитуде ЭЭГ. Величина для нормировки плотности источников равна плотности, создающей потенциал поля u_0 на расстоянии корреляционной длины при условии, что весь заряд сосредоточен в центре объема корреляции. Под объемом корреляции понимается область, в пределах которой сосредоточены источники одного знака. Чем меньше такой объем, тем большая

плотность необходима для создания фонового потенциала амплитуды u_0 из-за противоположного влияния соседних областей.

В безразмерных переменных $u = \frac{u_1}{u_0}$; $x = \frac{x_1}{l_0}$; $y = \frac{y_1}{l_0}$; $z = \frac{z_1}{l_0}$ уравнение Пуассона примет вид

$$\frac{\partial^2 u(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u(x, y, z)}{\partial z^2} = k \cdot \rho(x, y, z). \quad (2)$$

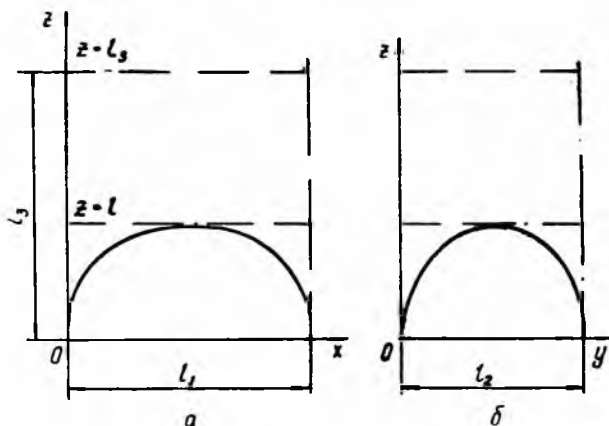


Рис 1

Здесь $k = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \frac{l_0^2}{u_0} \rho_0 = 4\pi \cdot \frac{l_0^2 \cdot l_k}{v_k^2}$ и зависит от амплитудного значения плотности заряда через величину объема корреляции.

Восстановление плотности заряда по биопотенциалу, измеренному во всей области. Рассмотрим задачу на собственные значения:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \lambda u$$

с периодическими краевыми условиями с периодом l_1 , l_2 , l_3 по координатам x , y , z соответственно.

Легко проверить двукратным дифференцированием, что собственными функциями уравнения (2) являются функции вида

$$u_{mnk}^{(x, y, z)} = (N_m^{(i)} \varphi_m^{(i)}(x)) \cdot (N_n^{(i)} \varphi_n^{(i)}(y)) \cdot (N_k^{(i)} \varphi_k^{(i)}(z)), \quad (3)$$

$m, n, k = 0, 1, 2, \dots$; $i = 1, 2$, где

$$\varphi_m^{(1)}(x) = \sin \omega_m x; \quad \varphi_m^{(2)}(x) = \cos \omega_m x;$$

$$\varphi_n^{(1)}(y) = \sin \omega_n y; \quad \varphi_n^{(2)}(y) = \cos \omega_n y;$$

$$\varphi_k^{(1)}(z) = \sin \omega_k z; \quad \varphi_k^{(2)}(z) = \cos \omega_k z;$$

$$\omega_m = \frac{2\pi}{l_1} m; \quad \omega_n = \frac{2\pi}{l_2} n; \quad \omega_k = \frac{2\pi}{l_3} k; \quad N_0^2 = \frac{1}{2}; \quad N_m^{(i)} = \sqrt{\frac{2}{l_1}};$$

$$N_n^{(i)} = \sqrt{\frac{2}{l_2}}; \quad i = 1, 2; \quad m, n, k = 1, 2, \dots,$$

при условии, что $m^2 + n^2 + k^2 \neq 0$. Функции $u(x, y, z)$ соответствует собственное значение $\lambda_{mnk} = \omega_m^2 + \omega_n^2 + \omega_k^2$, а функции $u(x, y, z)$ — нулевое собственное значение.

Пусть функция u имеет вид

$$u = N_1 \cdot \sin \omega_m x \cdot N_2 \cdot \sin \omega_n y \cdot N_3 \cdot \sin \omega_k z; \quad (4)$$

$$N_1 = \sqrt{\frac{2}{l_1}}; \quad N_2 = \sqrt{\frac{2}{l_2}}; \quad N_3 = \sqrt{\frac{2}{l_3}}.$$

Из уравнения (2) легко видеть, что распределению б. п. вида (4) соответствует распределение источников:

$$\rho(x, y, z) = \frac{\lambda_{mnk}}{k} \cdot N_1 \cdot \sin \omega_m x \cdot N_2 \cdot \sin \omega_n y \cdot N_3 \cdot \sin \omega_k z \quad (5)$$

и, наоборот, распределению источников

$$\rho(x, y, z) = N_1 \cdot \sin \omega_m x \cdot N_2 \sin \omega_n y \cdot N_3 \cdot \sin \omega_k z —$$

распределение б. п.1

$$(6)$$

$$u(x, y, z) = \frac{k}{-\lambda_{mnk}} \cdot \rho(x, y, z). \quad (7)$$

Соответствие (4), (5) и (6), (7) означает, что, если известна компонента пространственного спектра б. п.

$$a_{mnk} = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \int_0^{l_3} u(x, y, z) \cdot \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y \times$$

$$\times \sin \omega_k z dx dy dz,$$

то соответствующая компонента в распределении источников будет

$$A_{mnk} = -\frac{\lambda_{mnk}}{k} a_{mnk} = -K_{mnk} \cdot a_{mnk}, \quad (8)$$

где

$$K_{mnk} = \frac{\lambda_{mnk}}{k}. \quad (9)$$

В то же время, если a_{mnk} определена с ошибкой δa_{mnk} , то ошибка соответствующей компоненты распределения источников будет

$$\delta A_{mnk} = K_{mnk} \cdot \delta a_{mnk}. \quad (10)$$

Зависимость (10) означает, что всегда существуют пространственные гармоники с большим m , n и k , которые не могут

быть восстановлены, так как будут поглощены шумами. При этом чем меньше m и n , тем точнее может быть восстановлено распределение этой гармоники по объему. Чем грубее измерения, тем меньшее число гармоник может быть восстановлено.

Общая величина погрешности при восстановлении (x, y, z) будет равна сумме погрешностей, возникающих при восстановлении отдельных гармоник вида

$$Y_{mn}(x, y, z) = \chi(z) \cdot N_1 \sin \omega_m x \cdot N_2 \sin \omega_n y. \quad (11)$$

Функции $X(z)$ можно получить путем двумерного преобразования Фурье-распределения б. п. Они определяют соответствующей гармоники пространственного спектра вдоль оси z .

Функцию $X(z)$, в свою очередь, можно представить в виде ряда Фурье

$$\chi(z) = \frac{b_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} N_3 (a_k \sin \omega_k z + b_k \cos \omega_k z). \quad (12)$$

Будем считать, что погрешность $\tilde{\chi}(z)$ при определении $\chi(z)$ удовлетворяет среднеквадратичному ограничению:

$$\|\tilde{\chi}(z)\|^2 = \int_0^l \tilde{\chi}^2(z) dz = \sum_{i=0}^{\infty} (\tilde{a}_i^2 + \tilde{b}_i^2) \leq \delta^2, \quad (13)$$

где \tilde{a}_i и \tilde{b}_i — ошибки в определении коэффициентов Фурье a_i и b_i .

Предположим, что в соответствии со сказанным выше, при восстановлении $\chi(z)$ мы удержали n_k членов разложения (12).

Из (8) следует, что, например, погрешности \tilde{a}_i в определении некоторой гармоники с номером i будет соответствовать погрешность $\tilde{A}_i = \tilde{a}_i \frac{\lambda_{mni}}{k}$ в определении аналогичной гармоники в распределении источников. Поэтому квадрат полной квадратичной ошибки, возникающей из-за погрешности измерений, равен

$$\epsilon = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^{n_k} (\tilde{a}_i^2 + \tilde{b}_i^2) \lambda_{mni}^2 \right)^{1/2}, \quad (14)$$

будет меньше величины

$$\epsilon_D = \frac{\delta}{k} \epsilon_D^0; \quad \epsilon_D^0 = \frac{1}{n_k} \left(\sum_{i=0}^{n_k} \lambda_{mni}^2 \right)^{1/2}, \quad (15)$$

если ошибка измерения равномерно распределена между гармониками, и величины $\epsilon_{\max} = \frac{\delta}{k} \epsilon_{\max}^0$; $\epsilon_{\max}^0 = \lambda_{mnn_k}$ — в наихудшем случае, когда ошибка измерения приходится полностью на последнюю гармонику.

С другой стороны, при аппроксимации на интервале $(0, 2\pi)$ любой периодической функции $z(x)$ с ограниченной производной $\|z'(x)\| \leq B_1$ конечным отрезком ряда Фурье возможна ошибка, равная $\frac{B_1}{n_k}$ [1, 2].

Преобразуя интервал $(0, 2\pi)$ к интервалу $(0, l)$, видим, что та же ошибка аппроксимации будет для функции с производной в $\left(\frac{2\pi}{l}\right)$ раз большей, так что для функции, заданной на интервале длиной l и имеющей ограниченную первую производную $\|z'(x)\| \leq B_1$ (16), ошибка аппроксимации будет ограничена величиной

$$\varepsilon_{\text{апр}} = \frac{B_1 l}{2\pi} \cdot \frac{1}{n_k}. \quad (17)$$

Таким образом, полное отклонение конечного ряда (12) от функции (8) будет меньше:

$$\varepsilon(m, n, n_k) = \frac{B_1 l}{2\pi} \cdot \frac{1}{n_k} + \frac{\delta}{k} \varepsilon_{\text{изм}}^0(m, n, n_k), \quad (18)$$

где $\varepsilon_{\text{изм}}^0(m, n, n_k)$ равно ε_p^0 или $\varepsilon_{\text{мах}}^0$.

Как следует из уравнения (18), для каждого значения δ для выбранного класса кривых ограниченного наклона $\|z'(x)\| \leq B_1$ существует оптимальное число членов ряда n_k , которое следует удержать в приближенном решении.

Если число n фиксировано, то функции с другим значением наклона будут восстанавливаться неоптимально. Если функция содержит как плавные, так и быстропеременные участки, то с точностью до взаимного влияния таких участков при приближении в среднем оптимально будут восстанавливаться кривые с наклоном, принадлежащему узкому интервалу значений. При этом более крутые участки будут сглажены, а более плавные — частично зашумлены. Выбирая n_k оптимальным по некоторому B_1 , мы как бы «фокусируем» внимание на имеющихся на восстанавливаемой кривой пиках и скачках определенного вида.

Наличие приращения или пика на кривой может быть установлено, если его высота h больше ошибки восстановления. С другой стороны, для того, чтобы пик высоты h можно было аппроксимировать функцией ограниченного наклона, половина его ширины должна быть больше величины (рис. 2):

$$x_m = \frac{h}{B_1}; \quad h = \varepsilon(B_1 \delta, n_k).$$

Эффективность способа удобно оценивать отношением этой величины к длине интервала l :

$$\bar{x} = \frac{x_m}{l} = \frac{h}{B_1 \cdot l}$$

для пиков высоты h , идентифицируемых при заданной ошибке измерений.

Величина

$$n_{\text{сл}} = \frac{1}{2} \frac{l}{x_m} \frac{1}{2} B_1 \cdot l$$

характеризует уровень сложности восстанавливаемой кривой и равна числу пиков, которые могут быть идентифицированы на ней.

Учитывая нормировку уравнения (2), будем считать $h = 1$. В этом случае, как следует из (18),

$$\bar{x} = \frac{1}{\pi \left(n_k - \frac{\delta}{k} \cdot n_k \cdot \varepsilon_{\text{изм}}^0 \right)}. \quad (19)$$

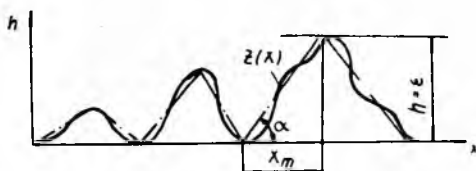


Рис. 2

Восстановление плотности источников по наружным измерениям б. п. Будем искать распределение источников б. п. в виде двумерного ряда Фурье, коэффициенты которого зависят от координаты z :

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [\chi_{mn}^{(1)}(z) \cdot \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y + \chi_{mn}^{(2)}(z) \times \\ & \times \cos \omega_m x \cdot \sin \omega_n y + \chi_{mn}^{(3)}(z) \cdot \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y + \chi_{mn}^{(4)}(z) \times \\ & \times \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y]. \end{aligned} \quad (20)$$

Распределению источников (20) будет соответствовать распределение б. п.:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [F_{mn}^{(1)}(z) \cdot \sin \omega_m x \cdot \sin \omega_n y + F_{mn}^{(2)}(z) \times \\ & \times \cos \omega_m x \cdot \sin \omega_n y + F_{mn}^{(3)}(z) \cdot \sin \omega_m x \cdot \cos \omega_n y + F_{mn}^{(4)}(z) \times \\ & \times \cos \omega_m x \cdot \cos \omega_n y]. \end{aligned}$$

Вследствие инвариантности тригонометрических подпространств относительно оператора Лапласа, как и раньше, каждая из функций $\chi_{mn}^{(i)}(z)$ будет отображаться в функцию $F_{mn}^{(i)}(z)$, $i = 1, 2, 3, 4$; $m = 1, 2, 3, \dots$; $n = 0, 1, 2, \dots$ и наоборот, но теперь для восстановления $\chi_{mn}^{(i)}(z)$ мы имеем в распоряжении только часть функции $F_{mn}^{(i)}(z)$.

Далее для краткости индексы у функций $\chi_{mn}^{(n)}(z)$ и $F_{mn}^{(n)}(z)$ будут опускаться.

Учитывая вид собственных функций (3) оператора Лапласа, между $\chi(z)$ и $F(z)$ на всем интервале $(0, l_3)$ можно установить интегральную зависимость:

$$F(z) = \int_0^{l_3} K_1(z, z_1) \chi(z_1) dz_1, \quad (21)$$

где

$$K_1(z, z_1) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(N_1^2 \cdot \sin \omega_i z \cdot \sin \omega_i z_1 + N_2^2 \cos \omega_i z \cdot \cos \omega_i z_1)}{-\lambda_{mn i}},$$

$z, z_1 \in (0, l_3)$; N_1, N_2 — нормировочные множители. Функция $F(z)$ доступна для измерения только на интервале (l, l_3) . Поэтому, учитывая, что $\chi(z)$ равна нулю вне интервала $(0, l)$, будем (21) рассматривать оператор, отображающий функции из интервалов $(0, l)$ в функции, заданные на (l, l_3) — рис. 1.

Выполняя линейное преобразование $t = \beta z + \alpha$, где

$$\beta = \frac{l}{l_3 - l}; \quad \alpha = -\frac{l^2}{l_3 - l},$$

оператор (21) можно записать в виде

$$f(t) = \int_0^l K(z, t) \chi(z) dz, \quad (22)$$

где

$$K(z, t) = K_1\left(z, \frac{t - \alpha}{\beta}\right); \quad f(t) = F\left(\frac{t - \alpha}{\beta}\right),$$

Интегральный оператор (22) с ограниченным ядром является непрерывным [3, 4]. Поэтому существуют две системы ортонормированных функций: $v_i(z)$ и $u_i(t)$, $i = 1, 2, \dots$, таких, что

$$\int_0^l K(z, t) \cdot v_i(z) dz = s_i u_i(t). \quad (23)$$

Функции $v_i(z)$ и $u_i(t)$ — собственные функции интегрального оператора с ядром

$$K_2(z, z_1) = \int_0^l K(z, t) \cdot K(z_1, t) dt \quad \text{и} \quad K_2^*(t, t_1) = \int_0^l K(z, t) \cdot K(z, t_1) dz, \quad (24)$$

s_i^2 — соответствующее собственное значение.

Если $s_i \neq 0$ и правая часть (22) равна $f_i u_i(t)$, где $f_i = \int_0^l f(t) \cdot u_i(t) dt$, то соответствующее ей решение таково: $\chi(z) = \frac{f_i}{s_i} v_i(z)$. Если ошибка в определении коэффициента равна

\tilde{f}_i , то ошибка в решении будет $\frac{l_i}{s_i}$; равенство нулю s_i означает, что соответствующие подпространства $v_i(z)$ отображаются оператором (22) в нуль и не могут быть восстановлены.

Таким образом, при наружных измерениях величина $K_i(m, n) = \frac{1}{s_i(m, n)}$ есть коэффициент усиления ошибки аналогично величине λ_{mni} в (14), а коэффициенты $f_i(m, n)$ — обобщенные коэффициенты Фурье-разложения б. п.

Приближение к решению (22) для $\chi(z)$ можно записать в виде обобщенного ряда Фурье [4, 5]:

$$\chi(z) \cong \sum_{i=0}^{n_k} \frac{l_i}{s_i} v_i(z). \quad (25)$$

Если заранее, на этапе планирования эксперимента, используя большую вычислительную машину, вычислить достаточное число векторов $v_i(z)$ и $u_i(t) = 1, 2, \dots, n_k$, то обработка результатов эксперимента при использовании метода конечномерной регуляризации (25) может быть значительно упрощена и может быть реализована с помощью мини-ЭВМ.

Заметим, что приближенное решение (25) эквивалентно методу регуляризации при замене величины $\frac{1}{s_i}$ на величину $\frac{1}{s_i + \frac{\alpha}{s_i}}$

где α — параметр регуляризации.

Оценка эффективности эксперимента аналогична оценке, рассмотренной в предыдущем разделе, если заменить величину λ_{mni} на $K_i = \frac{1}{s_i}$, зависящую от m, n и от геометрии области, и учесть еще один возможный источник аппроксимационной погрешности.

Действительно, при аппроксимации функций $\chi(z)$ в среднем теперь вместо тригонометрических, оптимальных в определенном смысле функций [1] используются функции $v_i(z)$, аппроксимационные свойства которых зависят от выбранной области и в общем случае неизвестны. Кроме того, эта система функций может быть неполна, если решение уравнения (22) неединственно.

Ошибка такого рода, возникающая при представлении решения в виде отрезка ряда (25), может быть вычислена путем аппроксимации элементов некоторой, в частности тригонометрической, полной системы функций или системы функций, которая хорошо аппроксимирует нужные нам особенности распределения источников элементами $v_i(z)$. Последние должны быть предварительно вычислены. Эту ошибку можно представить в виде [5]:

$$\epsilon_{\text{анп}}^{(2)} = \frac{B_1 l}{2\pi} \epsilon_0^{(2)}(n_k), \quad (26)$$

где $\varepsilon_0^{(2)}(n_k)$ — ошибка при восстановлении функций с производной, равной единице, $\varepsilon_0^{(2)}(n_k) \rightarrow 0$ при $n_k \rightarrow \infty$, если решение уравнения (22) единственно, и стремится к некоторой константе, если неединственно.

Таким образом, при оценке точного значения максимальной погрешности величину $\varepsilon_{\text{апп}}$ (17), входящую в выражение (18), необходимо заменить на величину

$$\varepsilon_{\text{апп}} = \frac{B_1 t}{2\pi} \left(\frac{1}{n_k} + \varepsilon_0^{(2)}(n_k) \right). \quad (27)$$

В первом приближении, при предварительных оценках, ошибкой $\varepsilon_0^{(2)}$ можно пренебречь, имея в виду при этом значительное упрощение вычислений, так как для вычисления $K_i = \frac{1}{s_i}$ можно использовать простые алгоритмы вычисления собственных чисел симметричной матрицы.

На рис. 3 для иллюстрации приведено несколько векторов $v_i(z)$ при $m, n = 5$, а на рис. 4 — зависимость числа пиков, восстанавливаемых на кривой распределения пространственного спектра источников в зависимости от точности измерений функции $F(z)$, при условии $\varepsilon_0^{(2)} = 0$. Для проведения необходимых вычислений можно использовать методы вычислений собственных векторов и соответствующие алгоритмы, приведенные в работах [6, 7]. Для вычислений собственных векторов $v_i(z)$ и $u_i(t)$ можно использовать конечномерную аппроксимацию непосредственно-интегрального уравнения с ядром (24). Это позволяет снизить размерность получающейся при этом матрицы, но алгоритм вычислений усложняется, так как сводится к вычислению собственных векторов несимметричной матрицы. Для вычисления небольшого числа собственных векторов, соответствующих большим собственным числам, как это требуется в рассматриваемой задаче, эффективно можно использовать метод исключения [6].

Можно также использовать более простые алгоритмы вычисления собственных векторов симметричной матрицы. В этом случае необходимо осуществить конечномерную аппроксимацию уравнения (22), а затем вычислить для полученной системы линейных уравнений соответствующие системы функций $v_i(z_j)$ и $u_i(t_j)$, $i = 1, 2, \dots, n_k$; $z_j, t_j, j = 1, 2, \dots, k$ — узлы аппроксимации, как собственные функции симметричных матриц A_k и A_{kk} . Для достижения удовлетворительной точности требуется больший порядок аппроксимации ($k \approx 80$), чем в предыдущем случае. Для вычисления только собственных чисел s_i симметричной матрицы такого высокого порядка удобно использовать предварительное приведение ее к трехдиагональной форме и последующее вычисление собственных чисел методом деления отрезка пополам. Для вычисления также и собственных векторов можно использовать

один из алгоритмов их вычисления для трехдиагональной матрицы [7].

Подход, основанный на применении алгоритмов, пригодных для симметричной матрицы, удобно использовать на этапе планирования эксперимента. Приведенные выше результаты получены этим методом.

Число каналов одновременной регистрации биопотенциала.

Измерения показывают, что значение биопотенциала заметно меняется на расстоянии 2—3 см, поэтому для его представления путем аппроксимации можно использовать сетку из $5 \div 6$ узлов вдоль каждой из координат.

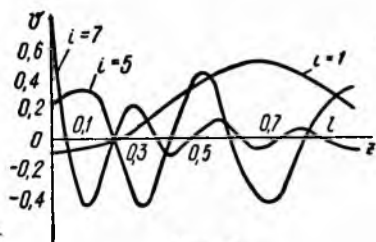


Рис. 3



Рис. 4

Из-за необходимости восстанавливать распределение б. п. в пространстве необходимое число точек оказывается значительным и может быть критическим для реализации метода.

Число удерживаемых членов ряда при восстановлении пространственного распределения б. п. определяется числом узлов сетки. Тригонометрические полиномы не являются в этом смысле наилучшими, так как при аппроксимации полиномами, например, при некоторых предположениях можно добиться той же точности с меньшим числом коэффициентов, определяемых из эксперимента [2]. Подбор наиболее подходящей системы аппроксимирующих функций на основе детального экспериментального исследования пространственного распределения б. п. наряду с учетом его аналитических свойств является одним из путей уменьшения числа регистрирующих каналов.

Другой способ, позволяющий уменьшить необходимое число каналов — иерархический способ организации измерений, когда при относительно грубых и редких измерениях выделяется пространственная область, распределение источников в которой следует уточнить. Для такого уточнения измерения можно проводить на более узком участке. Возможный при этом выигрыш можно оценить с помощью данных, приведенных на рис. 4 если учесть, что критерием подобия, как следует из (19), является величина δ , которая зависит от линейных размеров области.

Список литературы: 1. Тихомиров В. И. Поперечники множеств в функциональных пространствах и теория наилучших приближений.— Усп. мат. наук, 15, вып. 3, 1961, с. 93. 2. Лоран П. Ж. Аппроксимация и оптимизация.— М.: Мир, 1975.—496 с. 3. Канторович Л. В., Акилов Г. П. Функциональный анализ в нормированных пространствах.— М.; Л.: Физматгиз, 1959.—684 с. 4. Интегральные уравнения. Справочная математическая библиотека / П. П. Забрейко, А. И. Кошелев, М. А. Красносельский и др.— М.: Наука, 1968.—448 с. 5. Новожилов В. И. Оценка эффективности косвенного эксперимента и построение модели по косвенным измерениям.— Автоматика и телемеханика, 1975, 10, с. 43. 6. Уилкинсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений.— М.: Наука, 1970.—564 с. 7. Уилкинсон, Райнш. Справочник алгоритмов на языке АЛГОЛ. Линейная алгебра.— М.: Машиностроение, 1976.—389 с.

Поступила в редколлегию 15.08. 83.

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНАНТ В ФОРМЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИПОЛЕЙ ВИХРЕСТОКОВ И ВИХРЕИСТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Переменная составляющая квазистационарного поля биоэлектрической активности головного мозга, связанная с системой импульсного возбуждения целостного мозга, — нелинейная среда, свойства которой переменны. Это усложняет бионическое изоморфное моделирование, основанное на объективных методах биомедицинского кибернетического анализа, в частности пространственно-временного распределения потенциалов головного мозга.

Можно строить модели множества доминантных иерархических систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, аналогичные оригиналу — исходной системе организации потенциалов в пространстве и времени. Такие модели позволяют получить параметры, характеризующие пространственно-временные процессы электрической активности головного мозга при различных функциональных состояниях и могут быть использованы в объективной дифференциальной диагностике и при выработке психологических мероприятий, обеспечивающих рациональные режимы труда и отдыха.

Как известно, свойства структур пространственно-временных взаимосвязей головного мозга при различных функциональных состояниях зависят от расположения систем импульсного и электронического возбуждения целостного мозга в пространстве и времени. Множество зон регистрации имеет различное направление систем пространственно-временных биопотенциалов, поэтому поле электрической активности головного мозга характеризуется пространственно-временной анизотропией межцентральных отношений мозга.

Если существует регистрируемый переменный потенциал головного мозга, иерархически распределенный в пространстве и времени, то существует и «иссекаемое» электрическое поле, заключенное в определенном объеме. Это поле малоинтенсивно, быстрозатухающе в пространстве окружающей среды, псевдопарадоксально с точки зрения дистантной регистрации современными средствами измерительной техники, но с позиций системной биоэнергетики целостного мозга не исключается. Проанализируем «ближкое» поле биоэлектрической активности головного мозга, регистрируемое при помощи поверхностных электродов. В данном случае «дальним» полем биоэлектрической активности головного мозга пренебрегают как величиной малого порядка.

Можно установить, что разность потенциалов между поверхностями пар поверхностных электродов биполярного отведения формирует систему «продольных биоэлектрических полидиполей», расположенных по криволинейной поверхности регистрации — поверхности раздела сред разной плотности (мозга и объемного околосоматического пространства внешней среды). Вес систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга позволяет утверждать наличие системы «биоэлектрических полидиполей» головного мозга, обусловленных системой импульсного возбуждения целостного мозга. В результате множества электроэнцефалосигнальных отведений образуют «объемные биоэлектрические полидиполи», отображая динамику изменения неоднородного поля электрической активности головного мозга в пространстве и времени. Зоны, на которых чаще импульсируют вероятно-организованные потенциалы головного мозга, образуют доминантные зоны экзальтации, обусловленные активацией системы импульсного возбуждения целостного головного мозга. Вместе с доминантными зонами депрессии они образуют объемные биоэлектрические «полидиполи» разной направленности, проявляющиеся при различных функциональных состояниях в разной степени. Это позволяет судить о характере развития системы импульсного возбуждения в норме и в экстремальных условиях патологии. Наличие импульсных потенциалов предполагает расхождение, рассеивание, иссечение, дивергенцию близкого низкочастотного электрического поля головного мозга. Оно маломощно и быстрозатухающе потому, что биомагнитное поле, которое существует с импульсной составляющей электрической активности, представляет величину малого порядка, а в ряде случаев — нуль.

Топология систем пространственно-временных «полидиполей», обуславливающих основную (доминантную) составляющую квазистационарного «ближкого» поля электрической активности головного мозга, зависит от пространственно-временного взаимодействия и перераспределения систем импульс-

ного и электротонического возбуждения целостного мозга. Возможно, что на поверхности раздела сред головного мозга (тканевой, жидкостной) и окружающей газовой производится регистрация «близкого» биоэлектрического поля. Она обладает динамикой преобразования биопроводниковых и биодиелектрических свойств друг в друга с разной совместной и переходной комбинацией свойств, с превалированием одного из них, что значительно усложняет процесс моделирования электрического поля головного мозга.

Можно предположить, что «близкое» поле электрической активности головного мозга — одна из форм проявления разряженной электронно-ионной плазмы головного мозга, интегрально проявляющейся с неоднородными потоками нейтральных атомов. Указанное проявление можно выразить двумя формами: биоэлектрическая плазма «наводит» на поверхность раздела указанных выше сред квазистационарное биоэлектрическое («близкое») поле головного мозга; в состоянии импульсного возбуждения биоэлектронные потоки, проходя через поляризованные поверхности раздела центров экзальтированных зон, формируют поверхностный импульсный потенциал. Биоэлектронные потоки в этом случае обладают поляронными свойствами, когда их скорости изменяются в широком диапазоне, начиная от скоростей малого порядка. Свойства «пучков» принципиально отличаются от свойств фотонов. Преимущество модели поля электрической активности головного мозга: имеется возможность представления импульсирующих центров систем импульсного возбуждения в виде «двунаправленных» биоэлектрических «полидиполей» доминантных зон экзальтации, обладающих свойствами излучения, иссечения и поглощения импульсных биоэлектрических потоков, трансформированных и тесно связанных с материальной «заряданосящей» средой головного мозга. Далее, не утрачивается возможность представления квазистационарного биоэлектрического поля головного мозга постоянной (стационарной) и импульсной (переменной) составляющими.

В первой модели дискретность и аналоговость переменных пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга рассматриваются в плоскости квазистатического поля биоэлектрической активности, а во второй — квазистационарное излучение импульсных биоэлектрических полей головного мозга.

При моделировании биоэлектрической активности головного мозга во втором случае маловыраженная внутримозговая магнитно-изотропная среда характеризуется «намагниченностью» целостного мозга пропорционально напряженности внешнего магнитного поля, используемого в диагностико-корректирующем аспекте: $\vec{j} = k\vec{H}$, где k — «магнитная восприимчивость» сре-

ды головного мозга. Этот параметр позволяет установить меру измерения биоэлектрического поля целостного мозга под влиянием внешнего импульсного электромагнитного поля. \vec{H} — вектор напряженности внешнего магнитного поля.

Смысл такого подхода в том, что биомагнитная составляющая возможного импульсного поля головного мозга интегральная, неразрывна с биоэлектрической составляющей квазистационарного поля, отображающего совместное действие систем импульсного и электротонического возбуждения целостного мозга. Вторую модель можно строить, исходя из предпосылок осциллирующего полидиполя, как одной из форм проявления системы импульсного возбуждения головного мозга. Такой объемный биоэлектрический полидиполь имеет переменный биоэлектрический момент. Эти предположения приложимы к обоим моделям и основаны на том, что поле биоэлектрической активности мозга можно рассматривать как состоящее из двух предельных значений полей: «близкого» и «далекого» полей иссечения. Амплитуда «близкого» биоэлектрического поля головного мозга отличается от амплитуды «далекого», по крайней мере, коэффициентом $\frac{\lambda}{2\pi r}$, где $\lambda = v/f$ — длина волны; r — расстояние от источника системы импульсного возбуждения целостного головного мозга. При $r \ll \lambda$ биоэлектрическим полем головного мозга, проявляющемся в зоне помех существующих электронных биомедприборов, при регистрации электроэнцефалосигналов (ЭЭС) пренебрегают. Амплитуда «близкого» биоэлектрического поля головного мозга уменьшается обратно пропорционально r^3 . «Далекое» биоэлектрическое поле головного мозга обратно пропорционально r . При исследовании ЭЭС, как указано, «анализируется «близкое» биоэлектрическое поле головного мозга. Между прочим, биоэлектрическое поле головного мозга в диапазоне $r - r^3$ также имеет много специфических особенностей. Отсюда следует: пространственно-временная топология «осциллирующего» полидиполя квазистационарного «близкого» поля биоэлектрической активности головного мозга идентифицируется весом доминантных систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга.

Квазистационарное поле биоэлектрической активности в объеме пространстве головного мозга, порожденное системой импульсного возбуждения целостного мозга, может моделироваться неупорядоченными турбулентными потоками, скорость и давление которых изменяется в пространстве и времени. Турбулентность неоднородного поля биоэлектрической активности головного мозга обусловлена разной степенью случайного проявления и образования доминантных «путей перемешивания» сред, аппроксимированно моделируемых при помощи полуимперической теории Тейлора. Длительность

«пути перемешивания» может быть в соответствии с длительностью проявления доминантных систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга.

Согласно формулам Прандтля, перенос количества движения, вызванный пульсациями скорости системы импульсного возбуждения целостного мозга и накопленный в периоды моментов разрыва между импульсациями, возможно, создает дополнительное напряжение поля электрической среды в объемном пространстве головного мозга. В турбулентном биоэлектрическом потоке головного мозга вероятностной направленности имеет место перенос градиентного типа. В частности, турбулентный перенос локальности к диффузности в системе импульсного возбуждения целостного мозга в предлагаемой модели может быть представлен градиентным типом.

В модельном представлении скорость перемещения турбулентного биоэлектрического поля головного мозга определяется вероятностной составляющей, но основную часть системы импульсного возбуждения мозга, видимо, отображают маловероятные, неочевидные системы пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, основанные на почве редко случайных турбулентных потоков биоэлектрического поля мозга. Скорость переноса биоэлектрического поля головного мозга может зависеть в большей степени от распределенного в пространстве и времени дифференцирующего поля, чем от местного градиента.

Длительности систем пространственно-временных синхронных и асинхронных связей головного мозга, построенные по векторам, позволяют предполагать, что в эти дискретные моменты времени для биоэлектрических полей головного мозга характерно безвихревое состояние, которое в первом приближении можно описать уравнениями Максвелла: $\text{rot}\vec{F} = 0$, $\text{rot}\vec{H} = 0$. Такие поля квазипотенциальны. Они могут моделироваться скалярными функциями координат $v_E(x, y, z)$ и $v_M(x, y, z)$, называемые электрическим и соответственно магнитным потенциалами. Для квазистационарных полей биоэлектрической активности головного мозга $\vec{E} \approx -\text{grad } v_E$, $\vec{H} \approx -\text{grad } v_M$, на основании чего $\text{rot grad} \approx 0$.

В соответствии с изложенным выше центры доминантных зон экзальтации систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, отображающих одну из форм импульсного возбуждения целостного мозга, аппроксимировано могут моделироваться двусторонними точечными турбулентными истоками Q_+ и соответственно по обратной связи — стоками Q_- иссекающими и соответственно поглощающими вдоль положительной криволинейной, аналого-дискретной полуоси с импульсом I_+ и вдоль отрицательной полуоси с импульсом I_- :

$$Q_-/Q_+ = (J_-/J_+)^{\frac{1}{2}}, \text{ где}$$

$$Q_- = q_{-1}, q_{-2}, q_{-3}, \dots, q_{-i}, \dots, q_{-n},$$

$$Q_+ = q_{+2}, q_{+2}, q_{+3}, \dots, q_{+i}, \dots, q_{+n},$$

$$J_- = i_{-1}, i_{-2}, i_{-3}, \dots, i_{-i}, \dots, i_{-n},$$

$$J_+ = i_{+1}, i_{+2}, i_{+3}, \dots, i_{+i}, \dots, i_{+n}.$$

Если существующее биоэлектрическое поле головного мозга замкнуто (при разности потенциалов оно замкнуто), то центры доминантных зон экзальтации и депрессии систем импульсного возбуждения целостного мозга, выраженного в форме биоэлектрической активности, можно моделировать вариационно и двоякозначно, т. е. так, что биоисточники с положительной направленностью вихревых биоэлектрических потоков — отрицательные для множества вихрестокков и наоборот. Появляется возможность для моделирования на основе трансформации системы импульсного возбуждения интегрального перехода биоэлектрической активности головного мозга из одной полярности в другую. В первом приближении аналог можно сконструировать так.

Пусть в области доминантной экзальтации системы импульсного возбуждения головного мозга центр вихреисточника (вихрестокка z) вероятностных систем пространственно-временных потенциалов головного мозга равен мнимой величине s_i биоэлектрического поля, s — действительной величине. Тогда, используя логарифмическую функцию, можно записать: $L = s_i \ln z$, здесь L позволяет воспроизвести картину перемещения силовых линий окрестных биоэлектрических полей вокруг центра, представляемого нитеобразным вихрепотоком биоэлектрической активности головного мозга.

Комплексный потенциал вращающегося потока биоэлектрической активности мозга с циркуляцией без интегральной суперпозиции окрестных ротационных потоков поля биоэлектрической активности головного мозга моделируется алгоритмом:

$$L = -\frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z.$$

Если $s_{i_1}, s_{i_2}, \dots, s_{i_l}, \dots, s_{i_n}$ — вихрестокки или вихреисточники потоков поля биоэлектрической активности головного мозга, то суперпозиция нитеобразных потоков биоэлектрических полей

$$L = (s_{i_1} + s_{i_2} + s_{i_3} + \dots + s_{i_l} + \dots + s_{i_n}) \ln z.$$

В таком случае перемещение биоэлектрического поля целостного мозга представляет для первой вероятной модели

спиралеобразные логарифмические линии. Тогда комплексная скорость в составном суперпозиционном потоке биоэлектрического поля головного мозга в приближенном представлении может рассматриваться как сумма комплексных составляющих потоков поля биоэлектрической активности целостного мозга.

Если Q_i — модуль мощности положительного вихресточника биоэлектрического поля головного мозга, находящегося на расстоянии l от точки отсчета и эквивалента модулю мощности отрицательного вихресточка поля биоэлектрической активности головного мозга, то процесс моделирования можно описать алгоритмом:

$$L(z) \cong \frac{|Q_i|}{2\pi} \ln(z-l) - \frac{|Q_i|}{2\pi} \ln(z+l).$$

Если $|Q_i| = \text{const}$, а $l \rightarrow 0$, то вихресток центра доминирующей зоны возбуждения «поглотит» биоэлектрический поток, поступающий, иссекаемый из соответствующего центра — вихресточника потока, поля биоэлектрической активности головного мозга, распределенной в пространстве и времени в форме синхронных потенциалов.

При

$$\begin{aligned} \lim_{h \rightarrow 0} |Q_i| 2l &= k \\ |Q_i| &\rightarrow \infty \end{aligned}$$

образуется «диполь вихресточника и вихресточка» в центре доминантной зоны возбуждения головного мозга, k образует момент диполя вихресточника и вихресточка центра активации. В результате для множества ЭЭС отведений образуется комплексный полидиполь вихресточников и вихресточков неоднородного биоэлектрического поля головного мозга: $L(z) = \frac{k}{2\pi z}$, где $k > 0$ характеризует положительный вихресток биоэлектрического поля целостного мозга относительно симметричного отрицательного вихресточника; $k < 0$ характеризует отрицательный вихресток поля биоэлектрической активности целостного мозга относительно симметричного положительного вихресточника. Вихресточников и вихресточков положительной и отрицательной полярности систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга множество. В силу полидипольности они сопряжены, асимметричны относительно друг друга, переменны, разной степени выраженности, поэтому иерархичны.

Если $p = f(\rho, t)$ — вероятностное равенство состояния внутримозговой среды, то перемещение системы импульсного возбуждения, выраженного в форме биоэлектрической активности,

аппроксимированно моделируется уравнениями Максвелла и Навье-Стокса:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \text{ grad}) \vec{v} \cong -\text{grad } p + \rho \nabla^2 \vec{v} + \vec{j} \times \vec{B},$$

где левая часть является произведением плотности импульсной составляющей биоэлектронно-ионной «разряженной» плазмы головного мозга $\rho(x, t)$ на ее ускорение ($\rho d\vec{v}/dt$), обусловленное силами диффундирования, где первый член правой части — градиент давления $p(x, t)$; второй — плотность силы так называемого «внутреннего трения»; третий — плотность силы Лоренца (H/m^3 ; $\nabla = i\partial/\partial x + j\partial/\partial y + k\partial/\partial z$ — дифференциальный оператор набла или оператор Гамильтона. Формирующиеся следы биоэлектризованных нейронных ансамблей и плеяд целостного мозга с плотностью \vec{j} , возможно, вызывают силу Лоренца, пространственная плотность которой для среды целостного мозга может моделироваться упрощенной формулой: $\vec{F} \cong \vec{j} \times \vec{B}$. Предлагаемая модель позволяет сформировать образ некоторых свойств центров систем синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга, как форма электрической активности ЦНС. Поскольку множество доминантных систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга являются порождением центров «сильного возбуждения», то основную роль в конструируемых моделях играет не амплитуда, не энергетический уровень, а частота биоэлектрических вихрепотоков в переменных зонах системы импульсного возбуждения, противоположных по функциональным возможностям системе электротонического возбуждения целостного мозга. Полидиполь вихрестокков и вихрестокков центров поля биоэлектрической активности головного мозга наиболее легко отзывается «на давление волны» (по А. А. Ухтомскому). В таком аспекте доминантности систем пространственно-временных связей головного мозга отображает вероятные межцентральные отношения между интегрально-связанными подсистемами импульсного возбуждения целостного мозга. Множество дифференцируемых систем пространственно-временных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга зарождаются в динамике реакций отображаемых центров, возникших при разрешении силовых моментов разных видов возбуждений, «по ходу реакций» характеризующих прямо или косвенно экзальтацию систем импульсного возбуждения целостного организма. В оценку силы доминанты систем пространственно-временных потенциалов головного мозга входит частотная силовая, скоростная характеристика системы импульсного возбуждения и «силе побочных тормозящих воздействий».

РЕФЕРАТЫ

УДК 510.62

Обзор исследований по автоматической обработке естественного языка в США. О с ы к а А. Ф.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 3—18.

Предложен обзор материалов, опубликованных в США по проблеме обработки с помощью ЭВМ информации на языке человека. Особое внимание уделено методам перехода от текста на естественном языке к представлению его значения на языке машинной системы, методам построения лингвистического интерфейса для банков данных, анализу результатов практического использования построенных систем. Библиогр.: 62 назв.

УДК 510.62

Об условиях существования сверточного семейства предикатов. Ш а б а н о в-К у ш н а р е н к о Ю. П., Ш л я х о в В. В.—Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 18—24.

Рассматриваются сверточные семейства предикатов, т. е. такие, которые описываются интегралом свертки. Найдены необходимые и достаточные условия, при выполнении которых данное семейство предикатов является сверточным. Доказана независимость полученного набора свойств.

Все условия поддаются экспериментальной проверке. Библиогр.: 3 назв.

УДК 510.62

О моделировании фонетического отношения. М а л е н ч е н к о З. Ю., П р а с о л Г. А.—Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 24—30.

Математически описаны фонетические признаки звука и связь между признаками и фонемой. Получен вид функций для определения значений фонемы в зависимости от значений признаков. Табл. 3. Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

О математическом моделировании отсубстантивных имен существительных русского языка. Р ы б о в а Н. В., Ш а р о н о в а Н. В.—Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 30—34.

Исследуется один из важнейших аспектов формализованного представления номинативной деривации в именах существительных русского языка. На примере суффиксального словообразования отсубстантивных имен существительных рассмотрен принцип построения математических моделей такого рода. Библиогр.: 6 назв.

УДК 62. 506.2

Определение границ фразы при анализе текста на ЭВМ. Р у б л и н е ц к и й В. И., К о р я к С. Ф.—Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 34—39.

Дается определение фразы с целью создания синтаксической модели русского языка, приведены описания алгоритмов, позволяющих выделять фразы из потока письменной речи, даны оценки достоверности получения правильно-го, с точки зрения определения, результата. Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

УДК 510.62

Э математическом описании орфоэпических связей для буквосочетаний и отдельных грамматических форм русского языка. Калекина Т. Г. — Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 39—44.

Предлагается математическая модель орфофонетических отношений для буквосочетаний и отдельных грамматических форм русского языка. В качестве языка формального описания используется математический аппарат алгебры конечных предикатов. Библиогр.: 3 назв.

УКД 610.52

К вопросу о формализации смысла на словообразовательном уровне. Соловьева Е. А., Маторин С. И. — Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 44—50.

Рассматривается необходимость математического описания смысла, выражаемого на естественном языке, предлагается новая наука о смысле. Основана важность изучения смысла на словообразовательном уровне. Исследуется структура словообразовательных значений глаголов русского языка. Библиогр.: 14 назв.

УДК 681.518

Метод определения параметров нелинейных геометрических преобразований изображений. Машталир В. П., Винарский В. Я., Майстренко А. А. — Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 51—57.

Предлагается метод определения параметров произвольной группы преобразований изображений путем решения последовательности систем линейных уравнений. Библиогр.: 2 назв.

УКД 681.142.2

Об одной реализации языка запросов в системе управления базой данных. Бузницкая Э. М., Кудрявцева В. А. — Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 57—66.

Описывается общая структура языка запросов для системы управления базой данных. Установлены группы работающих с системой пользователей и дана характеристика выполняемых ими функций. Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 62. 506.2

Принципы организации анализа естественно-языковых высказываний в системах общения пользователей с ЭВМ. Сообщение 1. Терзиян В. Я. — Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 66—74.

Рассматривается возможный подход к организации анализа естественно-языковых высказываний в диалоговых системах общения. Подход предполагает параллельное использование процедур морфологического, синтаксического, семантического, прагматического и информационного анализов для скорейшего достижения конечных результатов анализа. Библиогр.: 3 назв.

УДК 62.506.2.

Установление сверхфразовой структуры текста на естественном языке на основе использования системы логических предикатов. Блехман М. С., Захаров А. А.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 74—79.

Описан формальный аппарат, который может быть использован для построения некоторых классов процедур анализа сверхфазовых отношений. Процедуры анализа сверхфазовых отношений сводятся к решению, управлений, составленных из булевых функций, которые, в свою очередь, строятся с использованием четырех базовых предикатов. Библиогр.: 4 назв.

УДК 65.011.56:681.3.06

Синтез тестов для схем с глобальными обратными связями и с элементами памяти. Фролова И. Е.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 79—82.

Рассмотрены вопросы построения контролепригодных последовательных схем, содержащих глобальные обратные связи, при помощи введения блокирующих вентилях. Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

УДК 65.011.56

О психодинамическом эксперименте (Теория среднего). Тух А. И.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 83—84.

Предлагается методика прямого эксперимента на животных для проверки основных положений развиваемой автором теории среднего — психодинамической модели. Библиогр.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Система кодирования и анализа игровых ситуаций в волейболе. Сенченко Н. И., Космачевский Г. В., Танянский С. Ф.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 84—89.

Предлагается техническая реализация системы автоматического ввода, кодирования и анализа информации в ЭВМ, считающей с телевизионной передающей трубки. Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.32:61

Универсальный метод настройки каналов ввода физиосигналов в ЭВМ. Межеридский С. Г., Полтавцев В. П.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 90—95.

Рассмотрен метод настройки каналов ввода физиологической информации в ЭВМ при использовании в качестве контрольного сигнала как меандра, так и серий прямоугольных импульсов произвольной длительности. Библиогр.: 3 назв.

УДК 025.4.036:510.63

Проблемно-ориентированная информационно-логическая дедуктивная система. Старченко А. Н., Рось А. А., Теплов С. А.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 96—101.

Рассматривается концептуальная схема информационно-логической системы, ориентированной на использование в составе систем организационного управления. Ил. 3. Библиогр.: 16 назв.

УДК 681.325.6

К задаче синтеза оптимальной структуры устройств постоянной памяти на нейроподобных сетях. Кирсанов Э. Ю.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 102—108.

Рассматриваются вопросы синтеза оптимальной структуры постоянных запоминающих устройств (ПЗУ) на нейроподобных сетях, выполненных на пороговых элементах (ПЭ) с фиксированными весами и переменным порогом. ПЗУ рассматривается как система распознавания (СР). Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

УДК 658.012.011.56:681.5

Анализ динамических процессов в системах с широтно-импульсной модуляцией. Саликов Л. М., Мазалов А. Я., Кадулин В. И., Машенко Т. Г.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 108—111.

Рассмотрены разностные уравнения, описывающие процессы в широтно-импульсных системах второго рода. Оценено влияние малых нелинейностей на норму решения системы разностных уравнений. Библиогр.: 2 назв.

УДК 681.327.22

Графоаналитический способ оценки некоторых параметров многопультовых систем отображения информации. Королев А. В., Гончаров Ю. М.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 111—115.

Предлагается критерий оценки эффективности многопультовых систем отображения информации использовать в качестве устройств управления. Описывается специальная программа, с помощью которой производится количественная оценка эффективности СОИ по данному критерию и сравнение вариантов комплектования системы различным количеством экранов. Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 62.506.2

Восстановление распределения плотности источников в объеме головного мозга по пространственному спектру фонового биопотенциала. Новожилов В. И.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 115—126.

Рассмотрен косвенный способ восстановления мгновенного распределения источников в головном мозге по результатам измерения пространственного спектра биопотенциала в области, наружной по отношению к головному мозгу и имеющую прямоугольную форму. Ил. 4. Библиогр.: 7 назв.

УДК 612.82.014.001.57

Идентификация доминант в форме пространственно-временного распределения диполей вихресточков и вихресточков электрического поля головного мозга. Колотенко Г. А., Филатов А. Т., Ахмедов Т. И.— Пробл. бионики, 1985, вып. 34, с. 126—133.

Рассмотрена турбулентность систем синхронного и асинхронного потенциалов головного мозга. С помощью классических преобразований описаны алгоритмы доминант смоделированных систем в виде вихресточков и вихресточков, что позволяет расширить представления о динамике бионических устройств, в основе которых — выявленный принцип функционирования.