

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

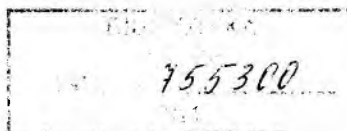
ПРОБЛЕМЫ

БИОНИКИ

Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник

Основан в 1968 г.

В Ы П У С К 59



Харків 2003

Харківський національний університет радіоелектроніки

УДК 519.7

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*. Рассматриваются: распознавание образов и анализ изображений, инженерия и представление знаний, базы знаний, машинная лингвистика, математическое обеспечение ЭВМ, физика и математика информационных процессов, системы искусственного интеллекта.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНИКИ ІНТЕЛЕКТУ*. Розглядаються: розпізнання образів та аналіз зображень, інженерія та подання знань, бази знань, машинна лінгвістика, математичне забезпечення ЄОМ, фізика та математика інформаційних процесів, системи штучного інтелекту.

Для викладачів вищих закладів освіти, науковців і фахівців.

The journal publishes articles on the *BIONICS OF INTELLIGENCE*. The topics considered are: pattern recognition and image analysis, engineering and knowledge overview, knowledge bases, computer linguistics, mathematical support of computer, physics and mathematics of information processes, artificial intelligence systems.

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

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

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

Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам

Свидетельство о государственной регистрации
№ КВ-4485 от 22.08.2000 г.

Рекомендовано Ученым советом
Харьковского национального университета радиоэлектроники.
Протокол № 54 от 31 октября 2003 г.

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков-166, просп. Ленина, 14, Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ), тел. 702-13-97

УДК 007.001.362

Н.С. ЛЕСНАЯ, А.С. СМЕЛЯКОВА

АППРОКСИМАЦИЯ ГРАНИЦ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРОВ

Постановка проблемы. Одна из актуальных и в полной мере не решенных проблем обработки снимков, полученных при фотографировании земной поверхности, биологических и иных объектов в различных спектрах, анализ которых человеком невозможен или малопродуктивен, состоит в распознавании объектов и оценке их геометрических и иных числовых характеристик с заданной точностью по результатам выделения границ изображений с целью последующего использования в различном масштабе и с различной точностью.

В этих условиях основная задача имеет два аспекта:

1) нахождение для границы объекта аппроксимации минимальной сложности на заданном классе функций. Метод решения этой задачи должен быть устойчивым и эффективным в вычислительном отношении - по точности, трудоемкости и затратам памяти;

2) классификация и поиск объектов по типам, соответственно их форме и метрическим характеристикам, прежде всего по границам.

Для задачи аппроксимации, состоящей в выборе класса кривой и ее параметров, отсутствуют универсальные модели и методы решения. Это связано с возникновением значительных погрешностей на этапе дискриминации границы, вызванных частичной и ложной сегментацией, с проблемой выбора критерия и метода аппроксимации границы и др.

Для решения задачи классификации и поиска требуется построить систему моделей объектов, параметризованных геометрическими, топологическими и иными параметрами, включая экспертные оценки.

Рассмотрим подход к решению этой проблемы для задач моделирования границ объектов в Геоинформационных системах (ГИС), имеющих замкнутые границы. Для определенности положим, что в качестве рассматриваемого объекта задан некоторый водоем. На исходном изображении (рис.1а) рассматриваемого участка местности выделены граничные точки этого водоема (рис.1б), которые требуется упорядочить (рис.1в) с целью получения замкнутого контура (рис.1г), который принимается за границу этого объекта с точностью, определяемой погрешностью получения исходных данных [1]. Как правило, такая высокая точность избыточна, в связи с чем при использовании меньшего масштаба требуется описывать ту же границу, но меньшим числом точек.

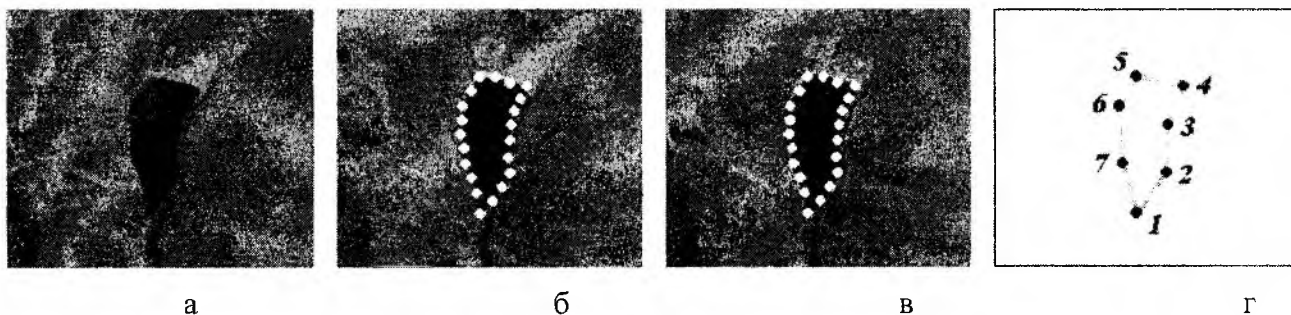


Рис. 1

а - спутниковый снимок водоема;

б - неупорядоченные точки границ;

в - описание границы исходной ломаной, содержащей максимальное число вершин;

г - аппроксимация границы с заданной точностью

При построении ГИС электронная карта рассматриваемого региона земной поверхности представляется многослойной базой данных, каждый слой которой описывает расположения объектов определенного класса (водоемов, лесов, дорог и др.), причем все эти слои могут синхронно отображаться в разном масштабе, что приводит к изменению описаний объектов. При этом важно, что в ГИС используется полигональное представление линий, а кривые для разного масштаба с соответствующей точностью описываются ломаными.

1 Метрика Чебышева и ее использование при аппроксимации границ

Аппроксимация в метрике Чебышева позволяет наилучшим образом учитывать локальную негладкость границ с целью обеспечения наиболее адекватного представления данных о местности при ее аппроксимации кривыми заданного класса.

Для иллюстрации этого положения рассмотрим случай, когда аппроксимирующая функция $f(x)$ задана относительно оси абсцисс на интервале $[a, b]$, а выделенные граничные точки – это ординаты $y = \{y_i\}_i$ для абсцисс x_i ($i = 1, 2, \dots, n$). В этом случае отклонение граничных точек от кривой $f(x)$ в метрике Чебышева равно

$$\rho_C(y, f) = \max_i |y_i - f(x_i)|. \quad (1)$$

При традиционном подходе аппроксимация, как правило, строится на основе метода наименьших квадратов (МНК), суть которого сводится к минимизации не максимального, как в случае (1), а среднего отклонения

$$\rho_D(y, f) = \frac{1}{n} \sum_i [y_i - f(x_i)]^2. \quad (2)$$

Вместе с тем, использование метрики Чебышева в общем случае существенно затрудняет применение аналитических подходов, хотя и позволяет учитывать значительные локальные вариации границ, которые, по построению, практически не учитываются в случае оценки точности по среднеквадратическому отклонению, например – в МНК.

Например, аппроксимация одной и той же последовательности граничных точек параболой в случаях метрик (1) и (2) приводит к кардинально различным результатам (рис. 2 а, б), причем это различие усиливается с увеличением числа аппроксимируемых точек, так как при использовании МНК вклад каждого отдельного "выброса" падает, а в случае метрики Чебышева погрешность (1) не зависит от числа рассматриваемых точек и определяет адекватность описания "изрезанной" береговой линии.

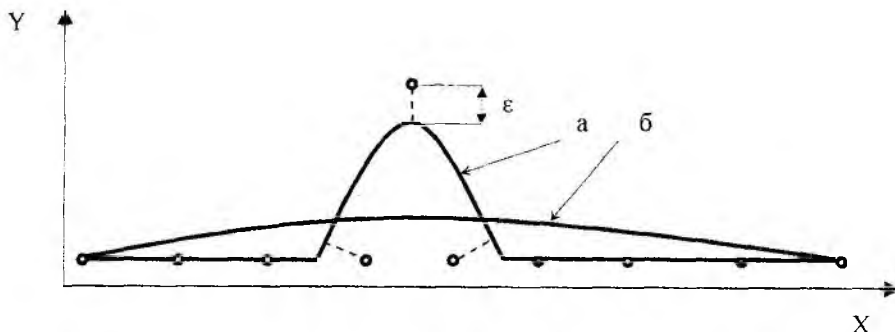


Рис. 2

2 Задача аппроксимации границы и метод ее решения. Поскольку в ГИС используется полигональное представление линий, рассмотрим следующую задачу аппроксимации границы объекта ломаной, имеющей минимальное число вершин [2].

Пусть n - число упорядоченных граничных точек, которые необходимо аппроксимировать ломаной с заданной точностью ϵ в метрике Чебышева. Для решения этой задачи предлагается метод, состоящий в применении двух алгоритмов - последовательной аппроксимации, начиная с заданной начальной точки IB , и выбора начальной точки.

Первый алгоритм состоит из следующих шагов.

1. Полагаем $IW = IB$; $\xi = 1$, $j_\xi = IW$ и считаем, что заданная последовательность граничных точек имеет номера $IB, IB + 1, \dots, IB + n - 1, IB + n$, где точка с номером $IB + n$ совпадает с IB .

2. Увеличиваем k от 1 до тех пор, пока удаление отрезка с концами в точках (x_{IW}, y_{IW}) , (x_{IW+k}, y_{IW+k}) от внутренних точек (x_{IW+1}, y_{IW+1}) , \dots , (x_{IW+k-1}, y_{IW+k-1}) не превысит ϵ либо $IW + k = IB + n$.

При достижении такой точки полагаем $\xi := \xi + 1$, $j_\xi = y_{IW+k}$.

3. Если $IW + k < IB + n$, полагаем $IW := IW + k$ и переходим к шагу 2; иначе - полагаем $\xi := \xi + 1$, $j_\xi = y_{IW+k}$ и переходим к шагу 4.

4. Конец: аппроксимирующая ломаная L_ξ состоит из последовательности граничных узлов с исходными номерами j_1, j_2, \dots, j_ξ .

Пример результата применения этого алгоритма содержится на рис.3.

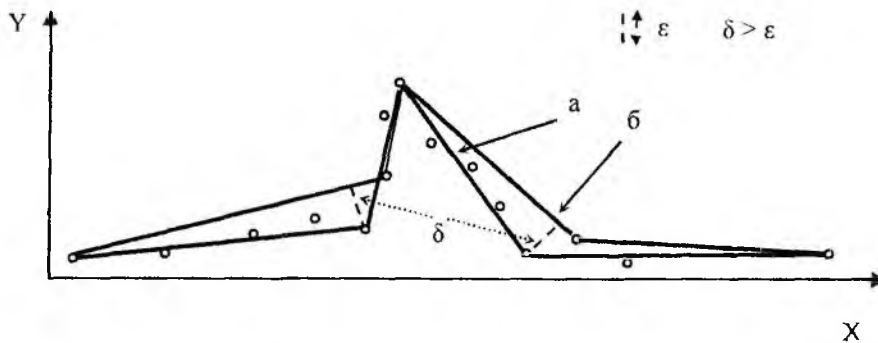


Рис. 3

В качестве процедуры выбора начальной точки можно воспользоваться методом Монте-Карло или иным методом дискретной оптимизации. Необходимость этого этапа определяется тем, что выбор начальной точки может влиять на вид аппроксиманта.

3 Задача построения фильтра для аппроксимантов границ по точности и масштабу

Очевидно, что при фиксированной точности измерения линейных величин изменение масштаба изображения приводит к изменению числа отрезков, аппроксимирующих границу с той же точностью. Поэтому аппроксиманты для заданного множества граничных точек, определяющих границу при максимальном масштабе, образуют двухпараметрическое семейство - по точности аппроксимации ϵ и по масштабу σ .

Однако вопрос не исчерпывается лишь одной компонентой границы, так как некоторые острова (в случае аппроксимации границ водоемов) или иные объекты при уменьшении масштаба могут менять свой топологический тип или "исчезать" (рис.4).

границы объекта предлагается описывать системой фильтров границ, параметризованных масштабом и точностью аппроксимации в метрике Чебышева. В этом случае каждый фильтр для заданных значений ϵ и σ описывает объект гомотопическим типом - как диск с $N(\epsilon, \sigma)$ дырками, граница каждой из которых задается замкнутой ломаной, полученной с

помощью описанного выше алгоритма последовательной аппроксимации для соответствующих значений параметров ε , σ .

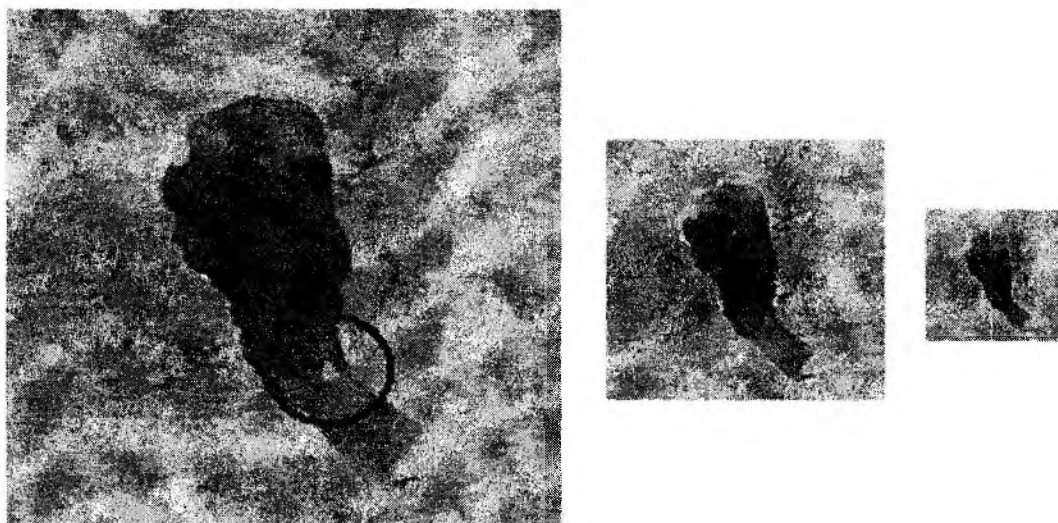


Рис. 4

При этом если исходный файл (рис. 1а) в формате bmp занимает 95 Кб, в формате jpeg – 5 Кб, то после аппроксимации ломаной (рис. 1г) – лишь 14 байт для представления координат вершин ломаной, определяющих границу объекта. Поэтому хранение послойной информации о регионе для дискретной шкалы масштабов в общем случае не требует больших затрат памяти.

4 Онтологический подход к моделированию онтологической системы фильтров. С точки зрения информационных технологий, для эффективного поиска, хранения и иных видов обработки данных на основе результатов решения задачи аппроксимации необходимо разработать соответствующую онтологию использования полученной системы данных [3] для "одного и того же" типа объектов, геометрические параметры

Поэтому для адекватного учета изменений топологии и формы объектов решение задачи аппроксимации и топологический тип которых могут изменяться в зависимости от параметров, определяющих масштаб и точность модели.

Для решения этой задачи предлагается ввести унифицированную систему онтологических фильтров (табл.2), для эффективной работы которых необходимо построить базовую систему математических фильтров (табл.1, табл.3) с использованием предложенной системы фильтров границ.

Таблица 1

№	Топологические и метрические параметры границ			
	1	Число компонентов границы	3	
2	Границы	Число вершин	Координаты вершин	
	Граница №1	3	(1;2), (2;5), (3;7)	
	Граница №2	5	(11;5), (12;6), (12;8), (13;3), (15;5)	
	Граница №3	4	(21;51), (25;57), (29;67), (21;53)	

Таблица 2

№	Наименование характеристики объекта	Параметры объекта
1	Номинальные (по номинальной шкале)	
1.1	Тип объекта (на географической карте)	Озеро
1.2	Цветность (в шкале визуального восприятия)	Темно-зеленый
1.3	Форма границы (в шкале визуального восприятия)	Округлая
1.4	Дата обновления параметров объекта (год)	2003
2	Нормированные (в порядковой шкале)	
2.1	Масштаб (стандартного ряда значений)	1 : 50 000
2.2	Формат (цветовая модель)	RGB
2.3	Чистота воды водоема (в 5-балльной шкале качества)	4 – хорошая
3	Метрические (в числовой шкале)	
3.1	Площадь объекта (км ²)	113
3.2	Диаметр объекта (км)	39
3.3	Емкость описания объекта (байт)	100
3.4	Погрешность аппроксимации границы (на карте, в метрах)	0,001

Таблица 3

Цветовая модель	Средние значения объекта по компонентам цветовой модели	Предельное отклонение яркости объекта по компонентам цветности по модулю
RGB	30, 70, 50 (темно-зеленый)	5, 10, 7

Список литературы: 1. Бобков В.А., Казанский А.В., Морозов М.А. Выделение размытых контуров на примере определения скорости течений по спутниковым изображениям // Автометрия. 2001. № 2. С. 3-12. 2. Бессарабов И.И. Использование ориентационной сегментации контуров с целью описания объектов на изображении в терминах отрезков // Автометрия. 2002. № 2. С. 67-72. 3. Россеева О.И., Загорюлько Ю.А. Организация эффективного поиска на основе онтологий // Российский НИИ Искусственного Интеллекта. 2000. №3. С. 34-39.

Поступила в редколлегию 17.09.2003

УДК 519.7

Н.Н. БУСЛИК, С.П. ТИМОФЕЕВ

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ СЛОВАРНОЙ СТАТЬИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИИ К ЗАДАЧЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННОГО СЛОВАРЯ В ДОКУМЕНТ XML

1 Формулировка и анализ проблемы

В современной компьютерной лексикографии актуальной и пока не решенной задачей является разработка *полной* формальной модели структуры словарной статьи, описывающей все её аспекты в любом словаре [15]. Причиной является то, что и в традиционной лексикографии пока нет исчерпывающего содержательного определения понятия "структура словарной статьи", да и под вопросом сама возможность такого определения - ведь словарная статья обычно включает фразы естественного языка, структура и содержание которых учитываются в некоторых моделях [8]. Существуют лишь *частные* модели структуры словарной статьи, предназначенные для решения тех или иных задач.

Наиболее простыми и распространенными являются модели "зонной" структуры словарной статьи, основанные на порождающих грамматиках [3, 11]. Такие модели обеспечивают разработку *структуры* лексических (лексикографических, словарных) баз данных. Для представления же лексической *семантики* необходимы значительно более сложные модели [1, 12, 15].

Настоящая статья посвящена проблеме создания такой модели структуры словарной статьи, которая бы обеспечивала эффективное решение *задачи создания лексических БД на основе текстов произвольных традиционных словарей*, полученных в результате их сканирования и распознавания. Данная проблема рассмотрена в [5, 6, 14], ее решение основано на реализации синтаксически управляемого транслятора, настраиваемого на *схему словаря* - формальную спецификацию его структуры (основу схемы словаря составляет *схема словарной статьи*). В [6] предложена организация схемы в виде "двухуровневой диалоговой грамматики" - композиции формальной грамматики для информационного наполнения словаря, формальной грамматики для исходного текста словаря и правил диалога с экспертом-лексикографом для снятия неоднозначности второй грамматики. Класс двухуровневых диалоговых грамматик определяет некоторую модель структуры словарной статьи.

Недостатками известных решений проблемы являются:

1. Трудоемкость задания схемы словаря и отсутствие наглядности в случаях, когда словарная статья имеет сложную структуру. Причина кроется в *низком уровне* метаязыка традиционной модели структуры словарной статьи (т.е. БНФ или ее модификаций), позволяющем к тому же задавать только контекстно-свободные грамматики. Многочисленные контекстные ограничения приходится записывать с помощью дополнительных средств.

2. Отсутствие эффективных и доступных *инструментальных средств*, пригодных для реализации традиционной модели структуры словарной статьи. Проведенный нами анализ показал, что реализация транслятора словаря оказывается достаточно сложной.

2 Постановка задачи

В терминах информатики, текст словаря является *документом*, т.е. читабельным представлением данных. Поэтому естественно попытаться использовать наиболее современную и эффективную технологию работы с документами - технологию XML [7, 9].

Поставим задачей разработать такую модель структуры словарной статьи на основе модели данных XML, которая бы максимально использовала средства технологии XML и минимизировала трудоемкость создания транслятора словаря.

Архитектура системы трансляции словарей должна быть следующей (рис. 1).

Входом системы является произвольный традиционный словарь. *Выходом* - лексическая БД в виде документа XML и его схемы (в случае больших словарей предпочтительнее пред-

ставление лексической БД в виде набора документов XML для отдельных словарных статей). Документ XML и его схема представляют *информационное наполнение* словаря, т.е. словарную информацию, "очищенную" от элементов типографского оформления (*презентации* в терминологии XML). Функция системы реализуется совместно *программой транслятора* и действиями *эксперта-лексикографа*.

Словарь на входе системы имеет два представления: книжное и электронное.

Электронная копия словаря, точнее, его корпуса (последовательности словарных статей) является набором RTF-файлов и подается на вход транслятора.

Книжный словарь, особенно его раздел с описанием структуры словаря, используется экспертом для конструирования *схемы словаря*, под управлением которой работает синтаксически настраиваемый транслятор словаря. Схема словаря должна легко преобразовываться в схему XML. Книжный словарь используется также для сверки с электронной копией в процессе ее автоматизированного редактирования [14].

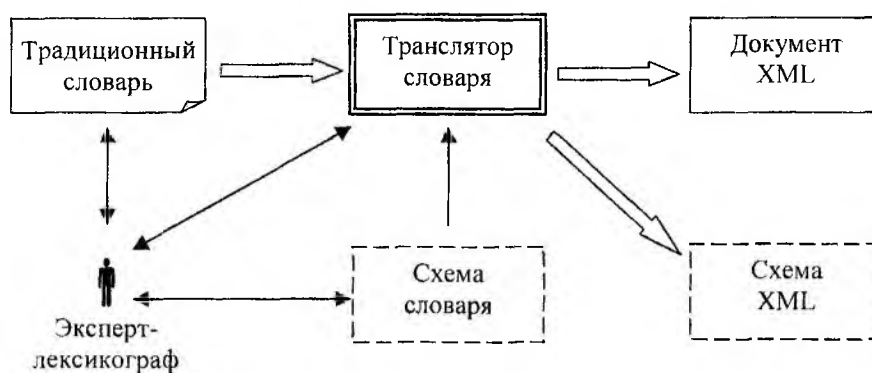


Рис.1. Архитектура системы трансляции словарей

3 Демонстрационный пример

С целью сделать постановку задачи и принципы ее решения более наглядными, на рис.2 приведен демонстрационный пример словаря в составе трех специально подобранных и слегка упрощенных словарных статей из англо-русского терминологического словаря по программированию и информатике Борковского [4].

- | |
|--|
| <p>(1) asg, asgn см. assign</p> <p>(2) first-in, first-out в порядке поступления, 'первым пришёл - первым вышел'</p> <p>(3) code-dependent system система, зависящая от данных, кодовзависимая система. См. code-sensitive system</p> |
|--|

Рис.2. Демонстрационный словарь

Несмотря на крошечный объем, этот пример позволяет продемонстрировать принципиальные проблемы, возникающие в процессе решения задачи. Опишем неформально *структуры экземпляров* словарной статьи с акцентом на их особенности.

Статья (1) содержит два заглавных термина-сокращения, которые разделены запятой. Правая часть статьи представляет собой отсылку на развернутый термин.

Статья (2) содержит один заглавный термин, в состав которого входит запятая. В правой части статьи находятся два переводных эквивалента, разделенных запятой.

Статья (3) содержит один заглавный термин, два переводных эквивалента и отсылку на синоним. После первого слова первого перевода стоит запятая.

Общая структура нашего микрословаря, включающая *структуру типа* словарной статьи [6], может быть неформально описана следующим образом. Словарь состоит из последовательности словарных статей, оформленных в виде абзацев. Статья может содержать несколько заглавных терминов, разделенных запятой и выделенных полужирным шрифтом. Правая часть статьи имеет два варианта структуры. Первый вариант: отсылка на развернутый термин, при этом заглавные термины должны быть аббревиатурами. Второй вариант: набор переводных эквивалентов, разделяемых запятыми, и необязательная отсылка на синоним. Переводные эквиваленты набираются обычным шрифтом. Отсылочные пометы выделяются курсивом: "см." (на развернутый термин) и "См." (на синоним). Второстепенные детали типографского оформления мы опустим – они не описаны и в [4], хотя в приводимых далее построениях все они учтены.

Формализация приведенного выше описания, без учета аспекта типографского оформления, приведена на рис.3 в виде *диаграммы XML-схемы*, изготовленной в режиме *визуального проектирования* в среде мощного инструмента технологии XML - XMLSpy (www.xmlspy.com). Текст схемы XML словаря на языке XSDL [9], генерируемый XMLSpy в процессе проектирования диаграммы схемы, в целях экономии места мы не приводим, так как на рис.7 изображен текст "двухуровневой схемы XML", отличающийся от исходной схемы XML лишь наличием описываемых далее "атрибутов представления". Заметим, что эксперт работает *непосредственно с диаграммой*, дополняемой на экране XMLSpy окошками с детальной информацией о ее элементах. Текст схемы используется программными компонентами и может рассматриваться как *структура хранения* диаграммы схемы. На рис.4 изображены деревья структур исходного текста словаря и его информационного наполнения. На рис.5 приведен требуемый результат трансляции демонстрационного словаря, т.е. соответствующий документ XML.

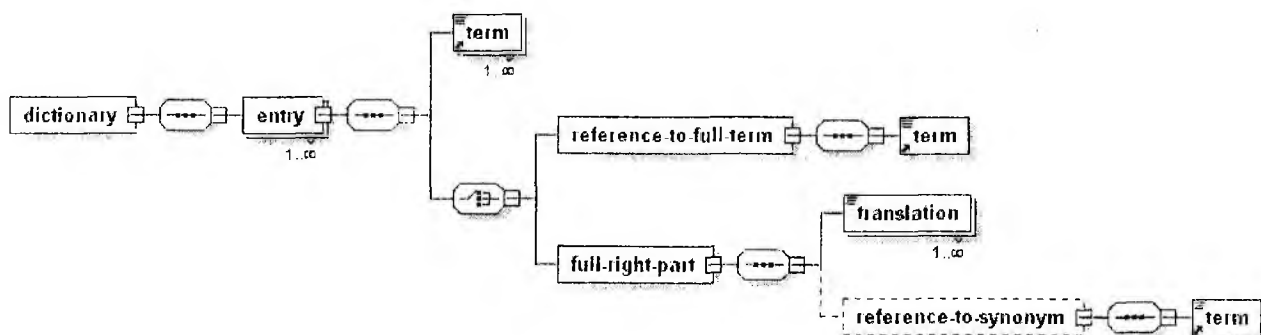


Рис. 3. Диаграмма схемы XML демонстрационного словаря

Замечание. Мы различаем понятия "информационное наполнение" и "текст информационного наполнения". Информационное наполнение представляет собой текст информационного наполнения, *содержательно структурированный* некоторым образом, например, с помощью тегов XML (т.е. документ XML); с помощью нелинейного древовидного представления данных (как в реализациях DOM-интерфейса [7]). Текст информационного наполнения является *кроной* дерева информационного наполнения. Сам по себе этот текст невозможно использовать: в нем отсутствует информация о структуре документа, несущая смысловую нагрузку. Ниже приведен текст информационного наполнения для демонстрационного словаря (на рис.5 он выделен полужирным шрифтом):

asgasgnassignfirst-in, first-outв порядке поступления'первым пришёл - первым вышел' code-dependent systemсистема, зависящая от данныхкодозависимая системacode-sensitive system.

4 Проблема формальной неоднозначности текста словаря

Легко заметить, что запятая в демонстрационных словарных статьях употребляется в различных случаях: как разделитель заглавных терминов, как разделитель переводных эквивалентов и как разделитель слов в терминах и переводах. Важным обстоятельством является то, что *формально* описать все случаи употребления запятой весьма затруднительно, если не невозможно: потребуются сложные *лингвистические алгоритмы*. Если по какой-либо причине их не удалось разработать, имеет место *формальная неоднозначность* текста словаря и приходится использовать *диалоговый режим* распознавания структуры экземпляров словарных статей, управляемый *неоднозначной формальной грамматикой*, точнее, представляющей ее *неоднозначной схемой* словаря [6, 14].

Принимая решение о разработке лингвистических алгоритмов снятия неоднозначности, следует *сопоставлять трудоемкость* их создания с трудоемкостью проведения диалога в процессе трансляции всего словаря. Если некоторый тип неоднозначности встречается очень редко, целесообразно не тратить усилия на алгоритм ее снятия, и наоборот, для часто встречающихся типов неоднозначности разработка таких алгоритмов может значительно облегчить работу эксперта и ускорить получение результата.

Причиной неоднозначности является желание автора словаря максимально упростить разметку с целью облегчить чтение словаря, не вводить дополнительных символов там, где "и так все понятно".

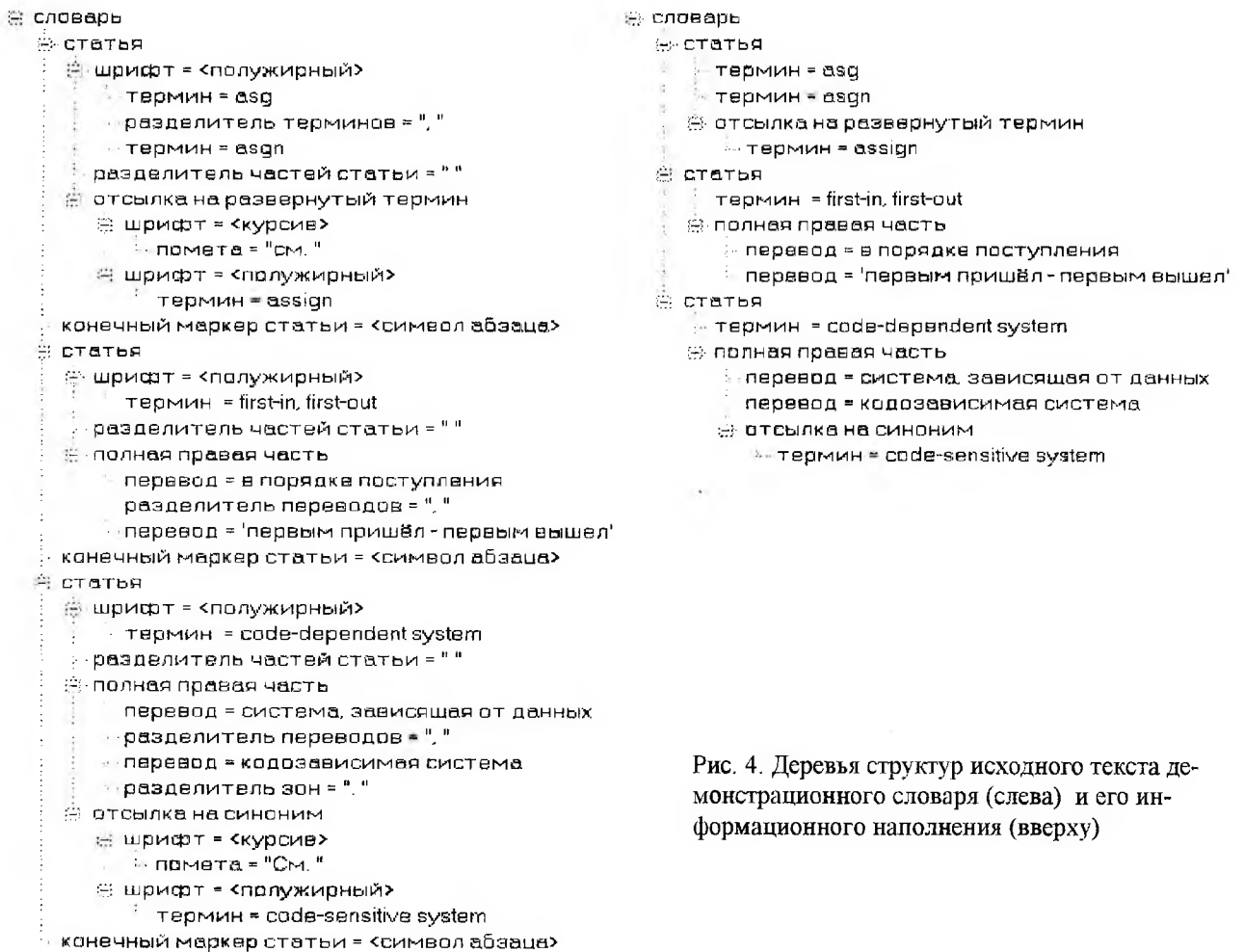


Рис. 4. Деревья структур исходного текста демонстрационного словаря (слева) и его информационного наполнения (вверху)

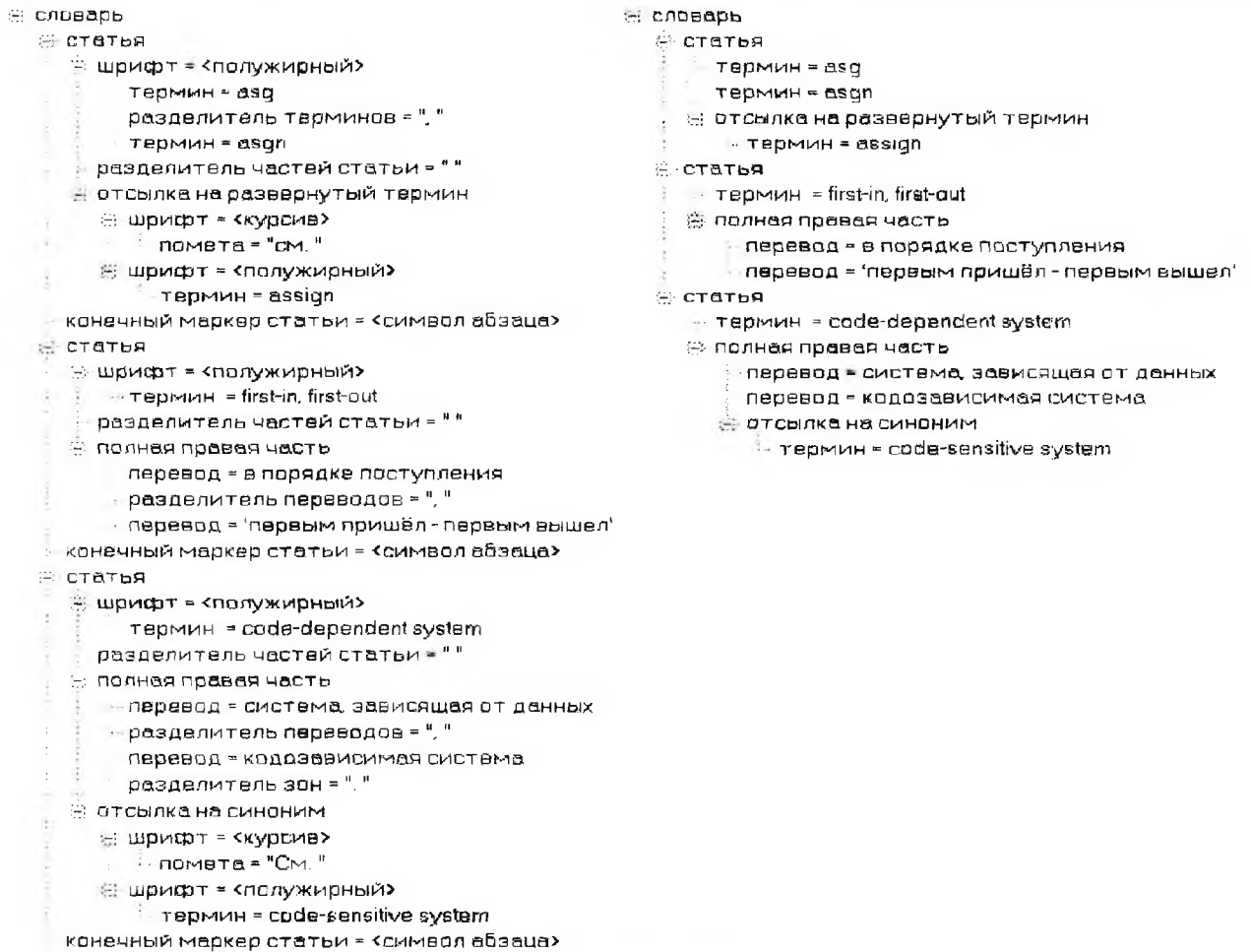


Рис. 4. Деревья структур исходного текста демонстрационного словаря (слева) и его информационного наполнения (вверху)

```
<?xml version="1.0" encoding="Windows-1251"?>
<dictionary xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <entry>
    <term>asg</term>
    <term>asgn</term>
    <reference-to-full-term>
      <term>assign</term>
    </reference-to-full-term>
  </entry>
  <entry>
    <term>first-in, first-out</term>
    <full-right-part>
      <translation>в порядке поступления</translation>
      <translation>'первым пришёл - первым вышел'</translation>
    </full-right-part>
  </entry>
  <entry>
    <term>code-dependent system</term>
    <full-right-part>
      <translation>система, зависящая от данных</translation>
      <translation>кодозависимая система</translation>
      <reference-to-synonym>
        <term>code-sensitive system</term>
      </reference-to-synonym>
    </full-right-part>
  </entry>
</dictionary>
```

Рис. 5. Документ XML для демонстрационного словаря

Автор подразумевает, что с учетом несложного содержательного анализа пользователь легко распознает структуру экземпляров словарной статьи. В терминах формальных грамматик, имеет место *пересечение* множеств символов (токенов) двух языков: естественного языка, фразы которого входят в состав словарной статьи, и искусственного языка разметки словарной статьи.

Отметим, что возможность со стороны пользователя словаря правильно распознать структуру всех словарных статей естественно назвать "*неформальной однозначностью*" текста словаря. Все традиционные словари обладают этим свойством по отношению к читателям, хотя бы минимально знакомым с *лексикографической традицией* своего национального языка.

5 Формулировка задачи в терминах технологии XML

В терминах (технологии) XML наша задача формулируется так: "**получить информационное наполнение документа-словаря (документ XML плюс схема XML) по его презентации в форме традиционного текста словаря**".

Общее решение задачи преобразования "*презентация* → *информация*" пока не известно, однако в XML стандартизовано решение обратной задачи, т.е. преобразования "*информация* → *презентация*". Для этой цели используются *таблицы XSLT*, описывающие преобразование на особом языке программирования функционального типа [7], а само преобразование выполняется многочисленными инструментами, главным из которых является Internet Explorer. Для целей требуемого нам противоположного преобразования использование таблиц XSLT, даже в совокупности со схемой XML, весьма проблематично и, во всяком случае, является сложным делом, см. листинг таблицы XSLT для демонстрационного примера на рис.6. Эта таблица описывает преобразование XML-документа словаря в HTML-документ, который на экране браузера выглядит так же, как исходный текст словаря на рис.1. Проблема использования таблицы XSLT состоит не в обычной формальной неоднозначности презентации, а в том, что таблица XSLT не дает описание презентации в явном, декларативном виде, но задает ее *неявно*, как результат применения некоторой функции к информационному наполнению.

Однако примем во внимание, что мы решаем не общую, а *частную* задачу преобразования "*презентация* → *информация*", поэтому **сформулируем ограничения, присущие презентациям традиционных словарей**. Эти ограничения довольно существенны, причиной чего является, во-первых, ограниченность докомпьютерной полиграфической базы, а во-вторых, требование простоты и единообразия подачи словарной информации, которая должна быть понятной рядовому пользователю словаря.

Во-первых, презентация традиционного словаря обычно является *линейным текстом*; в словарях с иллюстрациями мы обрабатываем только текст. Не играет роли оформление страницы и абзаца. *Ключевой особенностью* текста презентации словаря является то, что он является текстом информационного наполнения, "разбавленным" служебными лексемами презентации и использующим различное шрифтовое оформление; информационные лексемы сохраняют относительный порядок, см. рис. 5. Используя общее определение "разметки" [9], дадим *качественное определение* рассматриваемого класса презентаций: **презентация традиционного словаря является нестандартно размеченным текстом его информационного наполнения**.

Конкретно, в демонстрационном примере словаря используются следующие средства презентации, которые мы назовем "*атрибутами презентации*":

1. Стиль шрифта (может быть применен как к лексемам информационного наполнения, так и к служебным лексемам презентации):

- font-style = "italic" | "straight";
- font-weight = "bold" | "normal".

2. Служебные лексемы презентации (могут быть знаками препинания, ключевыми словами и их последовательностями, т.е. *лексикографическими пометами*):

- **sep** - разделители, вставляемые между повторяющимися элементами, а также между элементами группы;

- **start** - начальный ограничитель, является маркером начала элемента;

- **end** - конечный ограничитель, является маркером конца элемента.

Средства презентации большинства традиционных словарей, конечно, шире, но ненамного (верхний/нижний индекс, текст вразрядку и т.д.) и качественного отличия не наблюдается.

```
<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform" version="1.0">
<xsl:output method="html" indent="yes"/>
<xsl:template match="dictionary">
  <xsl:apply-templates/>
</xsl:template>
<xsl:template match="entry">
  <P> <xsl:apply-templates/> </P>
  <xsl:text>&#x0a;</xsl:text>
</xsl:template>
<xsl:template match="term">
  <B> <xsl:value-of select="."/>
  <xsl:choose>
    <xsl:when test="name() =name(following::*)">, </xsl:when>
    <xsl:otherwise> <xsl:text> </xsl:text>
      </xsl:otherwise>
  </xsl:choose>
</B>
</xsl:template>
<xsl:template match="translation">
  <xsl:value-of select="."/>
  <xsl:choose>
    <xsl:when test="name() = name(following::*)">, </xsl:when>
    <xsl:otherwise>
      <xsl:if test="position() != last() ">
        <xsl:text>.</xsl:text> </xsl:if>
      <xsl:text> </xsl:text>
    </xsl:otherwise>
  </xsl:choose>
</xsl:template>
<xsl:template match="reference-to-synonym">
  <I> <xsl:text>См. </xsl:text> </I>
  <B> <xsl:value-of select="."/> </B>
</xsl:template>
<xsl:template match="reference-to-full-term">
  <I> <xsl:text>см. </xsl:text> </I>
  <B> <xsl:value-of select="."/> </B>
</xsl:template>
</xsl:stylesheet>
```

Рис. 6. Таблица XSLT для демонстрационного словаря

Уточним формулировку нашей задачи.

Разработать модель структуры словарной статьи, удовлетворяющую следующим требованиям.

1) Она должна быть основана на модели данных XML и должна описывать в *декларативной форме* три аспекта текста словаря: структуру его информационного наполнения,

структуру презентации и соответствие между ними. Иными словами, *требуемая модель структуры словарной статьи должна включать модель информационного наполнения словарной статьи, модель презентации словарной статьи и описание соответствия между ними.*

2) Она должна обеспечивать простую реализацию транслятора текста словаря.

3) Модель информационного наполнения словаря должна быть моделью данных XML, т.е. мы не накладываем никаких ограничений на содержательную структуру словарной статьи.

4) Модель презентации должна обеспечивать описание типографского оформления достаточно обширного класса традиционных словарей. В данной статье ограничимся моделью, обеспечивающей описанные выше средства презентации.

5) Схема словаря должна выглядеть как *расширение* XML-схемы словаря и из нее должно легко вычлениваться собственно XML-схема словаря. Это обеспечит реализацию инструментами XML также прямого преобразования "информация → презентация", что позволит применить принцип *автоматизированного тестирования* транслятора: композиция преобразований "презентация → информация → презентация" должна быть тождественным преобразованием.

6 Решение задачи: концепция двухуровневой схемы XML

Анализ описанных выше средств презентации показывает, что дерево структуры информационного наполнения получается путем простого *удаления служебных элементов* (как терминальных, так и нетерминальных) из дерева структуры презентации (рис.5). Несложно сделать вывод, что структуру презентации словаря можно описать в виде незначительного расширения XML-схемы словаря с помощью *XML-атрибутов*, имеющих смысл описанных выше атрибутов презентации.

На рис.7 приведена *двухуровневая схема XML (Д-схема XML)* для демонстрационного примера словаря. Атрибуты презентации выделены **полужирным шрифтом**; если их удалить, то получим обычную схему XML. Заметим, что Д-схема XML не является схемой XML в точном значении этого термина, это абстрактная структура, интерпретацию которой задали мы сами. Д-схема XML удовлетворяет всем поставленным требованиям.

На рис.8 приведена диаграмма демонстрационной Д-схемы XML с предлагаемыми нами *средствами наглядного описания презентации*. Основу ее составляет диаграмма собственно схемы XML (рис.3), правда, горизонтальное представление диаграммы заменено вертикальным. Мы вручную дополнили эту диаграмму *выносками*, изображающими атрибуты презентации, а также *узлами-овалами* с обозначением типов терминальных элементов. Для краткости имена атрибутов шрифта опущены.

Замечание. Можно несколько расширить класс презентаций с сохранением предложенного принципа описания, а именно, ослабить требование непосредственного соответствия деревьев информационного наполнения и презентации и, следовательно, не требовать сохранения порядка информационных лексем в презентации. Однако при этом должна сохраняться некая *концептуальная близость* между структурами информации и презентации, позволяющая *декларативно* описать презентацию в виде дополнения к XML-схеме. Кстати, эти дополнения могут включать не только атрибуты, но и элементы (в терминологии XML) презентации. Удобно ввести *раздел представления* в виде составного элемента *Presentation*, подэлементы которого описывают *особые типы* презентации для отдельных типов элементов информационного наполнения, несводимые к атрибутам презентации.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Двухуровневая схема XML для демонстрационного словаря -->
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="dictionary">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="entry" maxOccurs="unbounded" end="&para;">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence sep=" ">
              <xs:element ref="term" maxOccurs="unbounded" sep=", "/>
              <xs:choice>
                <xs:element name="reference-to-full-term" font-style="italic" start="см. ">
                  <xs:complexType>
                    <xs:sequence>
                      <xs:element ref="term"/>
                    </xs:sequence>
                  </xs:complexType>
                </xs:element>
                <xs:element name="full-right-part">
                  <xs:complexType>
                    <xs:sequence sep=" ">
                      <xs:element name="reference-to-synonym" minOccurs="0"
                        font-style="italic" start="См. ">
                        <xs:complexType>
                          <xs:sequence>
                            <xs:element ref="term"/>
                          </xs:sequence>
                        </xs:complexType>
                      </xs:element>
                    </xs:sequence>
                  </xs:complexType>
                </xs:element>
              </xs:choice>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="term" type="xs:string" font-style="bold"/>
</xs:schema>

```

Рис. 7. Двухуровневая схема XML

7 Метод трансляции исходного текста (презентации) словаря

К идее метода трансляции презентации подталкивает наша формулировка сущности структуры презентации словаря как нестандартно размеченного текста. Достаточно очевидно, что *методы трансляции стандартно и нестандартно размеченных текстов, имеющих то же информационное наполнение, должны быть подобными.*

Схема XML может рассматриваться как представление формальной грамматики документа XML, причем очень удобное для реализации алгоритма распознавания в соответствующем синтаксически управляемом трансляторе (парсере XML). Алгоритм трансляции формулируется в графовых терминах, поэтому далее мы будем говорить об *узлах* схемы. Метод трансляции – нисходящий анализ в соответствии со структурой дерева схемы XML. Язык XML является LL(1)-языком [2], что обеспечивается самоопределенным тековым представлением древовидных информационных структур модели данных XML.

Д-схему XML следует рассматривать аналогичным образом как *представление формальной грамматики текста презентации.* Алгоритм трансляции, ее использующий, будет иметь тот же *синтаксический уровень*, что и парсер XML, изменится лишь *лексический уровень* и условия анализа лексем при выходе на ту или иную ветвь дерева схемы. Если в парсере XML таким условием является обнаружение в тексте начального тега соответствующего элемента схемы, то в нашем трансляторе презентации аналогичным условием является обна-

ружение той лексемы презентации, которая определяется в соответствии с *атрибутами представления* этого элемента.

а) Основная диаграмма

б) Поддиаграмма

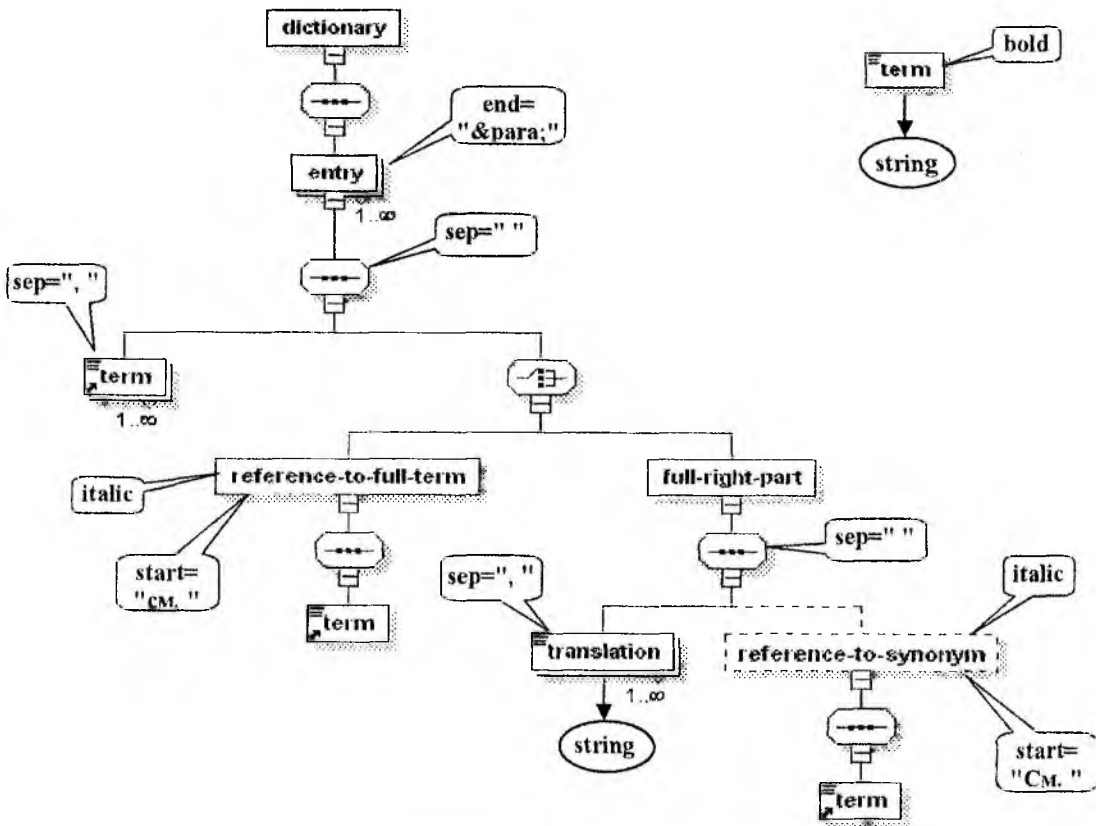


Рис.8. Диаграмма двухуровневой схемы XML

Алгоритм трансляции презентации имеет, однако, *качественное отличие* от алгоритма трансляции документа XML – это его *диалоговый характер* и необходимость интерпретации неоднозначной Д-схемы XML, о чем сказано в п.4. Компоненты неоднозначности в схеме обнаруживаются с помощью особого *алгоритма анализа схемы* и отображаются в ней в виде цепочек ссылок между "конфликтующими" узлами схемы. Содержательно, это такие узлы элементов и/или атрибутов, которые одновременно могут быть сопоставлены одной и той же лексеме в некоторой входной цепочке транслятора (в однозначной схеме этого не может быть). Например, в демонстрационной Д-схеме XML конфликтует элемент "термин" с атрибутом презентации "разделитель терминов" – ведь термин имеет строковый тип и может содержать запятую, которая одновременно является разделителем терминов.

Если разработчику-лексикографу удастся запрограммировать лингвистические процедуры снятия неоднозначности, он должен будет вставить их имена в виде *особых атрибутов* в узлы схемы, стоящие в начале *конфликтных цепочек*. Процедура вызывается алгоритмом трансляции при обработке *неоднозначной входной фразы*, о чем алгоритм узнает на основании вхождения текущего интерпретируемого узла схемы в конфликтную цепочку. Процедура должна выбрать из цепочки нужный узел и вернуть управление основному алгоритму транслятора. Если у конфликтной цепочки нет ассоциированной процедуры снятия неоднозначности, транслятор выходит на *диалог* с экспертом: выводит на экран список возможных синтаксических конструкций для неоднозначной фразы (список генерируется на основе конфликтной цепочки) и просит эксперта указать требуемый вариант.

Следует также указать на существенную **итеративность** процесса трансляции презентации, ведь она осуществляется под управлением схемы, которой изначально не существует и которая сама (без атрибутов презентации) является выходом транслятора. Вначале эксперт разрабатывает первую версию схемы. Это делается на основе неформального описания структуры словарной статьи, приводимого во вводном разделе традиционного словаря. Затем осуществляется пробная трансляция словаря, которая выявляет множество несоответствий между схемой и отдельными экземплярами словарных статей. Причиной может быть как неполнота схемы, так и пропущенные ошибки сканирования в тексте словаря. Эксперт исправляет ошибки, выполняя тем самым **автоматизированное редактирование** исходного текста словаря, корректирует схему и повторяет трансляцию. Итерации продолжаются до тех пор, пока трансляция всех статей словаря не пройдет успешно.

Впрочем, иногда и этот факт не служит **доказательством правильности** трансляции: эксперт может задать такую схему, которая **согласуется** с текстом словаря, но будет наделять его **не той структурой**, которую подразумевал автор словаря, т.е. схема будет **неправильной семантически**, хотя и **правильной синтаксически**. Данную ситуацию можно продемонстрировать на примере первых двух словарных статей из демонстрационного словаря. Автор словаря, описывая его структуру, **не упомянул** о возможности двух заглавных терминов в одной словарной статье. Мы обнаружили такую конструкцию **случайно** в процессе просмотра словаря. Если бы мы не описали ее в схеме словаря, то никакой **формальной** ошибки не совершили бы, просто транслятор словаря считал бы всю левую часть статьи (1) **единым термином**, ведь запятая может входить в состав термина, как в статье (2). Однако надеяться на ручной просмотр для очень больших словарей не приходится. В настоящей статье мы не будем углубляться в проблему **семантической эквивалентности** структуры словаря, подразумеваемой автором, и структуры, сформированной экспертом; укажем только, что задача построения схемы словаря является частным случаем **задачи приобретения знаний**, носящей название **индуктивного вывода** [13].

Заключение. Предложенная модель структуры словарной статьи является **грубой, рамочной**: в ней не специфицируются конкретные типы элементов, допустимые в словарных статьях. Наша модель описывает специальным образом лишь способ задания презентации словаря; информационное наполнение словарной статьи задается произвольным образом в соответствии с моделью данных XML. Этого оказывается достаточно для решения поставленной задачи. Из рамочного характера модели следует, что **результаты работы можно экстраполировать на задачи, связанные с выявлением структуры и стандартизацией представления других классов документов, например в задачах перевода АСУ на технологию XML**.

Список литературы: 1. Апресян Ю.Д. Избранные труды, Т. 1. Лексическая семантика. М.: Школа "Языки русской культуры", 1995. 472 с. 2. Ахо А., Сети Р., Ульман Дж. Компиляторы: принципы, технологии, инструменты: Пер. с англ. М.: "Вильямс", 2001. 768 с. 3. Баранов А.Н. Введение в прикладную лингвистику. М.: "Эдиториал УРСП", 2001. 360 с. 4. Борковский А.Б. Англо-русский словарь по программированию и информатике. М.: Русский язык, 1987. 333 с. 5. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Обобщенная схема процесса формирования лексической БД на основе текста традиционного словаря // Сб. научн. тр. ХНУРЭ. Харьков, 2002. С.33-34. 6. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Диалоговые двухуровневые формальные грамматики и их использование при создании лексических баз данных // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб., 2002, вып. 57. С. 3-6. 7. Валиков А.Н. Технология XSLT. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 544 с. 8. Глебовский А.С., Ступин Л.П. Теория структуры словарной статьи в советской и зарубежной лексикографии // Вестник ЛГУ. Сер.2. 1990. Т.2. № 9. С. 62-69. 9. Грейвс М. Проектирование баз данных на основе XML. М.: "Вильямс", 2002. 640 с. 10. Гринев С.В. Введение в терминологическую лексикографию. М.: МГУ, 1986. 103 с. 11. Колодяжная Л.И. Автоматизированная лексикографическая система УНИЛЕКС: Словарно-ориентированная подсистема. М.: МГУ, 1987. 116 с. 12. Мельчук И.А. Курс общей морфологии. Т.1. Изд. группа "Прогресс". Москва-Вена, 1997. 13. Приобретение знаний. М.: Мир, 1990. 304 с. 14. Тимофеев С.П. Интерактивный метод выявления структуры статей бумажного словаря // Вестник МСУ. Сер. Филология. Харьков, 2000. Т.3, №4. С. 21-22. 15. Широков В.А. Інформаційна теорія лексикографічних систем. К.: Довіра, 1998. 331 с.

Поступила в редколлегию 24.09.2003

УДК 681.3

*Г. Ф. ДЮБКО, ФУДЖУ ХАЛЛИД ИССА***ПРИМЕНЕНИЕ ГРАММАТИК В БАЗАХ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

Экспертные системы создаются для решения широкого круга проблем, в частности для решения задач проектирования – нахождения конфигурации компонентов системы, которая удовлетворяет целевым условиям и множеству проектных ограничений, а также задач планирования – разработки последовательности действий для достижения множества целей при данных начальных условиях и временных ограничениях. Одной из технологий, решающих проблему построения экспертной системы (ЭС), является технология на основе знаний, в которой знания составляют ядро системы.

Традиционно ЭС строится на базе некоторой модели знаний: продукционной, логической, сетевой, фреймовой. Успехи построения ЭС продемонстрировали работоспособность основной идеи построения ЭС на основе модели знаний, но одновременно подняли вопрос о выборе наиболее эффективного способа их представления. Представление знаний связано с управлением недостающей и неопределённой информацией, с определением выразительности представления, с отношением между языком представления и обучением, с приобретением знаний и эффективностью механизма рассуждения. Для повышения эффективности функционирования ЭС возникла комбинация различных моделей рассуждения. В гибридной архитектуре, объединяющей несколько моделей представления знаний, эффективность одного подхода может компенсировать слабости другого.

Стратегия вывода на знаниях определяет, в основном, эффективность функционирования ЭС. Стратегия вывода тесно связана с моделью представления знаний. В [1] проведен анализ различных форм представлений и стратегий; выделены методы решения проблем интеллектуальными системами: слабые, сильные, распределённые и внедрённые представления интеллекта.

Слабые методы связаны с проблемой поиска в пространстве состояний. Здесь рассматривается множество операций для изменения состояния. Решатели задач на основе слабых методов ограничены стратегиями, ориентированными на синтаксис, где проверяются синтаксические различия между текущим и целевым состояниями и выбирается операция, наиболее уменьшающая эти различия.

Сильные методы используют точные знания о предметной области. Поведение интеллектуальной системы определяется предложениями базы знаний (БЗ), и это поведение адекватно воспринятому смыслу этих предложений.

Агентное, внедрённое представление подвергает сомнению необходимость наличия какой-либо централизованной базы знаний, как и общецелевой схемы вывода. Решатели задач разрабатываются как распределённые агенты; решение задач – распределённый процесс взаимодействия агентов, решающих задачи в различных подконтекстах своих областей.

В предлагаемой работе делается попытка совместить достоинства различных методов, учитывая и определённую централизацию знаний, и их распределённость. К такому подходу подталкивает анализ восприятия и переработки информации человеком [2]. Анализ восприятия информации человеком выявил ограниченность воспринимаемой информации. Однако человек обладает чрезвычайно эффективным механизмом обработки сложных сообщений с большим количеством информации. Не в состоянии воссоздать полностью сложный объект, человек попросту игнорирует не слишком важные детали, абстрагируясь от них, создавая идеализированную модель объекта. Решения, принимаемые человеком, производятся на основе этих абстракций – идеализированных объектов. На основе бионических исследований процессов восприятия и переработки информации предлагается трёхкомпонентная модель представления знаний.

Верхним уровнем такой модели является уровень принятия решений. Модель может быть реализована в рамках исчисления предикатов. Для повышения эффективности функционирования выбран метод резолюций на множестве хорновских дизъюнктов. Здесь литералы хорновских дизъюнктов представляют абстракции, некоторые смысловые единицы, на основании анализа которых и принимается соответствующее решение. При определенных ограничениях на литералы и рабочую базу знаний можно добиться высокой эффективности функционирования. Назовём базу знаний, используемую для принятия решений предметной базой знаний (ПБЗ).

Пусть входная информация, подлежащая обработке экспертной системой, представлена языковой конструкцией некоторого языка. Чтобы обрабатывать смысловую информацию, представленную языковой конструкцией, необходимо иметь подсистему, определяющую этот смысл и формирующую абстракции (литералы). Такая подсистема может быть реализована на основе лингвистических знаний и методов трансляции. Назовём базу знаний, используемую на этом уровне, лингвистической базой знаний (ЛБЗ). Знания, отражающие смысл языковой конструкции, могут быть представлены графами, деревьями, другими структурами данных. Чтобы использовать эти знания в ПБЗ, необходимо представить их в виде литералов хорновских дизъюнктов. Задачу преобразования выделенных абстракций в литералы выполняет промежуточная система, основанная на метазнаниях, заключенных в базе метазнаний (БМЗ). Схема трёхуровневой базы знаний и механизмов, манипулирующих знаниями, представлена на рис. 1.

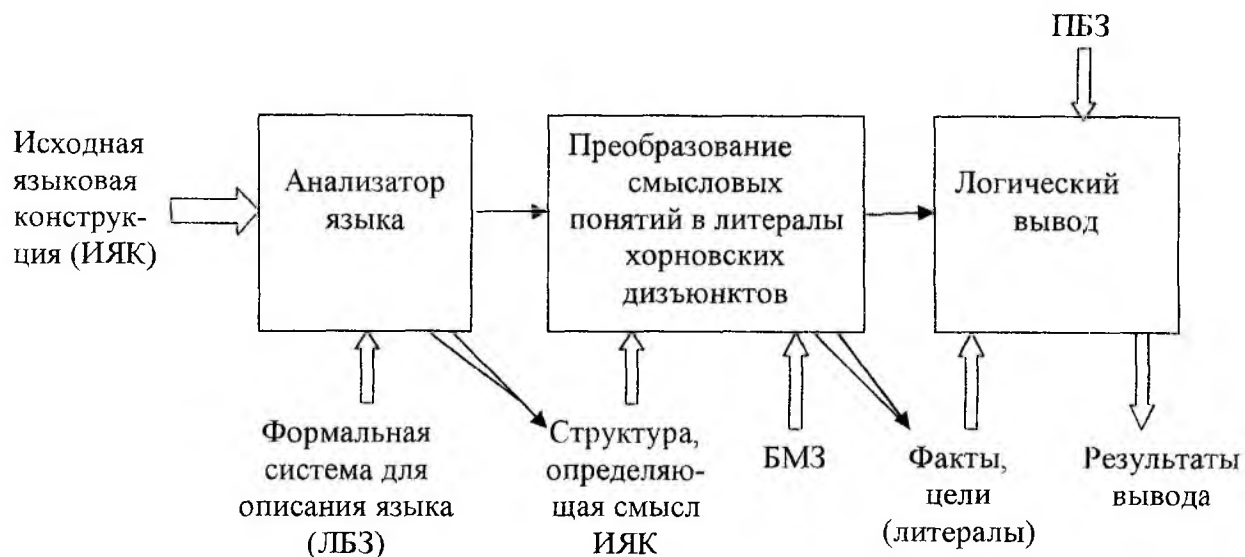


Рис. 1. Функционирование трёхуровневой базы знаний

Первым блоком в схеме функционирования трёхуровневой базы знаний является блок преобразования ИЯК в некоторую структуру, отражающую смысл, заключённый в ИЯК. Преобразование производится путем анализа языковой конструкции на основе лингвистической базы знаний. Одним из формализмов, описывающих ЛБЗ, выступает грамматика, на основе которой строятся алгоритмы анализа языковых конструкций. При разработке грамматик следует рассмотреть классы языков, которые представляет грамматика. В нашем случае при решении задач проектирования и планирования интерес представляют языки представления проектов.

Проектирование – процесс, ведущий от требований к их реализации. Не существует формального метода, который привёл бы к автоматической реализации этого процесса, поэтому процесс проектирования характеризуется значительной долей эвристических действий, что приводит к ошибкам (потеря информации, неверное понимание и трактовка каких-то положений и т.д.). При проектировании весьма важно на ранних этапах получить некоторую действующую модель проекта, на которой можно было бы проверить соответствие проекта требованиям. Одной из форм представления и реализации модели является программная система, моделирующая поведение проектируемой системы. К построению модели предъявляются требования минимальности затрат на создание (финансы, сроки, трудовые ресурсы).

Исходная информация о проекте, необходимая для создания программной модели, представляется на некотором языке высокоуровневых описаний. В качестве такого языка может использоваться представление проекта визуальными компонентами, сопровождаемыми текстовыми описаниями. Визуальные компоненты проекта связаны между собой интерфейсами в единую схему, которая представляет структуру проекта. Каждый компонент обладает определённым поведением, которое, как и интерфейсы компонента, описывается в явном виде. Поведение всей системы и её связи с внешней средой определяются структурной схемой и композицией поведений компонент. Таким образом, язык описания проектов должен допускать представление графов (структурная схема проекта) и представление поведения (алгоритмы, таблицы, автоматы, тексты). Рассматриваемая нами ЭС должна «понять» исходное описание проекта и автоматически создать программную модель проекта (задача планирования).

Для каждой предметной области создаётся свой язык высокоуровневых описаний. Однако, если не заботится об эффективной реализации ЭС, можно говорить о едином языке представления поведения компонент. Принципиальной разницы при представлении языка в этих двух подходах не существует, язык будет представляться грамматикой.

Грамматика определяется [3] как четвёрка $G=(V_T, V_N, P, S)$, где V_T -терминальный алфавит, V_N -нетерминальный алфавит, P -множество продукций, S -аксиома. В зависимости от вида продукций грамматику соотносят к некоторому классу. Самым разработанным и употребляемым есть класс контекстно-свободных грамматик (КС-грамматики). Продукция КС-грамматики имеет вид $A \rightarrow \alpha$, где $A \in V_N$, $\alpha \in (V_N \cup V_T)^*$. Любая цепочка, принадлежащая языку, должна выводиться из аксиомы. Процесс вывода состоит из шагов. В зависимости от выбора вида вывода (свёртка или развёртка) определяется шаг вывода. При развёртке – это замена нетерминала на правую часть той продукции, где этот нетерминал есть левая часть. При свёртке – замена цепочки, являющейся правой частью продукции, на нетерминал (левая часть продукции). Вывод осуществляется с помощью алгоритма, управляемого некоторой стратегией. Сложность – весьма важная характеристика алгоритма вывода. Она выражается функциями, от экспоненциальной до линейной. Результатом вывода в грамматике выступает некоторая структура данных: дерево вывода, синтаксическое дерево, концептуальный граф, граф зависимости [1,3]. Назовём эту структуру семантической. Анализируя семантическую структуру, можно определить сущности, отношения между ними, свойства сущностей, отношений, свойств, то есть смысл языковой конструкции.

Программные модели, симулирующие поведение проектируемой системы, представляются на некотором языке, называемом языком моделирования. В качестве языков моделирования используют C++, VHDL, другие языки описания аппаратуры и программ.

При автоматизации процесса создания программной модели будем использовать алгоритмы, создающие элементарные фрагменты на языке моделирования. Пусть $algorithm(X_1, \dots, X_n)$ – один из таких алгоритмов, в котором X_1, \dots, X_n являются формальными параметрами. Чтобы $algorithm$ мог создать код на языке моделирования, необходимо заменить формальные параметры на фактические, которые являются смысловыми единицами исходной языковой конструкции. Для явного выделения смысловых единиц используется вывод в

атрибутной грамматике, которая обобщает КС-грамматику. В атрибутной грамматике каждый грамматический символ имеет связанное множество атрибутов, разделённое на два подмножества – синтезируемые и наследуемые атрибуты этого грамматического символа. Если рассматривать узел грамматического символа (X) в дереве разбора как запись с полями для хранения информации, где атрибут соответствует имени поля ($attr$), обращение к этому атрибуту можно представить в виде $X.attr$. Значением атрибута может быть число, строка, тип, адрес памяти, структура данных. Значение атрибута в узле дерева разбора определяется семантическими правилами, связанными с используемой в данном узле продукцией. Значение синтезируемого атрибута в узле вычисляется по значениям атрибутов в узлах – потомках данного узла; значения наследуемых атрибутов вычисляются по значениям атрибутов родительского узла и узлов одного уровня по отношению к рассматриваемому родительскому.

Семантические правила определяют зависимости между атрибутами, которые можно представить графом зависимости, задающим порядок выполнения семантических правил. Семантические правила могут задавать не только алгоритмы вычисления значений атрибутов, но также могут изменять переменные, не являющиеся атрибутами. Семантические правила можно вводить как грамматические символы в продукции грамматики. Например,

$$Xa \rightarrow Y_b Z_c \{f\}_{d,e,h} \quad d=b, e=c, a=h$$

есть продукция, в которой a, b, c – атрибуты грамматических символов (терминалов и нетерминалов); d, e, h – атрибуты символа действия f , представленного как грамматический символ; равенства обозначают правила присваивания значений атрибутам (подразумевается, что значение атрибута h – это результат семантического действия f). В случае подобного представления семантических функций дерево разбора содержит узел $\{f\}$, что увеличивает общее количество узлов, подлежащих обработке, и уменьшает общую эффективность системы. Чтобы избежать затрат этого вида, используем синтаксически управляемое определение (СУО).

В СУО каждая продукция КС-грамматики $A \rightarrow \alpha$ связывается с множеством семантических правил. Для вышеприведенной продукции $X \rightarrow YZ$ с атрибутами a, b, c, d, e, h и процедурой f множество семантических правил представляется как $X.a = f(Y.b, Z.c)$. Таким образом, для каждой продукции $A \rightarrow \alpha$ имеется связанное с ней множество семантических правил вида $a = f(b_1, \dots, b_k)$, где f – функция, b_1, \dots, b_k – атрибуты грамматических символов продукции, «а»-синтезируемый атрибут символа A или наследуемый атрибут одного из грамматических символов правой части продукции. В этом случае атрибут a зависит от атрибутов b_1, \dots, b_k .

При вычислении значений смысловых единиц в задачах проектирования и планирования используются семантические правила синтаксически управляемого определения, которые записываются как вызовы процедур или фрагменты программ. Если смысловая единица является структурой данных, состоящей из отдельных элементов, значения этих элементов будут рассредоточены по различным вершинам дерева вывода, и их можно «собрать» в единую структуру с помощью семантических правил.

В языках моделирования довольно часто приходится описывать смысловые единицы, представленные таблицами, списками, вообще связными структурами данных. Пусть смысловая единица представлена последовательностью элементов некоторой структуры. Следование элементов в структуре данных можно выразить леворекурсивной продукцией КС-грамматики

$$\langle lsd \rangle \rightarrow \langle lsd \rangle, \langle sd \rangle, \quad (1)$$

где $\langle lsd \rangle$ – список элементов структуры данных;
 $\langle sd \rangle$ – элемент структуры данных.

Для получения смысловой единицы с продукцией (1) нужно связать семантическое правило, сформулированное на атрибутах. Введём атрибут $\langle lsd \rangle val$, где должна накапливаться со-

ответствующая смысловая единица, функцию $list(L, X)$, которая присоединяет элемент X к уже имеющемуся списку L . Так как продукция (1) содержит символ $\langle lsd \rangle$ дважды, индексируем его, преобразовав (1) в (2):

$$\langle lsd \rangle \rightarrow \langle lsd \rangle_1 \langle sd \rangle \quad (2)$$

Семантическая функция $list$ по значениям атрибутов $\langle lsd \rangle_1.val$ и $\langle sd \rangle.val$ должна формировать список, накапливаемый в $\langle lsd \rangle.val$. Таким образом с продукцией (2) связывается семантическое правило $\langle lsd \rangle.val = list(\langle lsd \rangle_1.val, \langle sd \rangle.val)$, обеспечивающее накопление смысловой единицы.

Языковая конструкция, описанная атрибутивной грамматикой, вернее СУО, может быть представлена деревом разбора, полученным в процессе синтаксического анализа. Процесс «сборки» смысловых единиц по семантическим правилам происходит путём обхода дерева разбора – аннотирования. Чтобы сделать процесс вычисления атрибутов более эффективным, используем граф зависимости атрибутов.

Если атрибут a в узле дерева разбора зависит от атрибута b , семантическое правило для вычисления a в этом узле должно выполняться после семантического правила, вычисляющего b . Зависимости между наследуемыми и синтезируемыми атрибутами в узлах дерева разбора в явном виде определяются направленным графом – графом зависимости атрибутов. Перед построением графа зависимости для рассматриваемого дерева разбора каждое семантическое правило приводится к виду $a = f(b_1, \dots, b_k)$ введением фиктивного синтезируемого атрибута « a » для каждого семантического правила, состоящего из вызова процедуры, но не имеющего присваивания значения функции. Граф зависимости имеет узел для каждого атрибута и дугу, ведущую в узел a из узла b_i ($1 \leq i \leq k$), если атрибут a зависит от атрибута b_i .

Если $A.a = f(X.x, Y.y)$ семантическое правило, связанное с продукцией $A \rightarrow XY$, то оно определяет синтезируемый атрибут $A.a$, который зависит от атрибутов $X.x$ и $Y.y$. Когда эта продукция используется в дереве разбора, в графе зависимости будет три узла $A.a$, $X.x$, $Y.y$ с дугами от $X.x$ и $Y.y$ к $A.a$, поскольку $A.a$ зависит от $X.x$ и $Y.y$. Если же продукция $A \rightarrow XY$ имеет семантическое правило $X.i = g(A.a, Y.y)$, связанное с ней, то в графе зависимости будут дуги от $A.a$ к $X.i$ и от $Y.y$ к $X.i$, так как $X.i$ зависит от $A.a$ и $Y.y$. Поскольку при составлении грамматик исключают циклические зависимости атрибутов, в качестве графа зависимости получают направленный ациклический граф. Топологическая сортировка графа зависимости упорядочивает узлы графа так, чтобы при их обходе при обработке очередного узла уже иметь вычисленные значения атрибутов предыдущих узлов. Таким образом любая топологическая сортировка графа зависимости задаёт правильный порядок выполнения семантических правил, связанных с узлами дерева разбора, т.е. к моменту выполнения правила $b = f(c_1, \dots, c_k)$ атрибуты c_1, \dots, c_k уже получили свои значения и доступны для вычислений.

Обработка семантических единиц посредством СУО требует вначале использования синтаксического анализа для построения дерева разбора ИЯК. Затем строится граф зависимости, после топологической сортировки которого определяется порядок применения семантических правил, формирующих смысловые единицы.

Рассмотрим теперь, как строится атрибутивная транслирующая грамматика, чтобы знания, отражаемые нею, были адекватными классу задач, решаемых экспертной системой. Такое построение нужно делать только после того, как будут построены правила в ПБЗ, с помощью которых создается модель на языке моделирования. Каждое правило ПБЗ состоит из литералов, конкретизируемых базой метазнаний на основе дерева разбора. Следовательно, нетерминальные символы грамматики должны соответствовать литералам правил в ПБЗ. Атрибуты и семантические правила, связанные с грамматическими символами и продукциями, должны соответствовать переменным и их значениям в правилах ПБЗ.

Продемонстрируем построение фрагмента грамматики для проекта, состоящего из схемы, задающей соединение экземпляров компонент, и описания поведения компонент неко-

торого цифрового устройства. В соответствии с рис.1 грамматика является локальной базой знаний в трёхкомпонентной модели знаний, которая используется в ЭС для автоматического построения модели на языке VHDL. Пусть цифровое устройство на языке описания представлено так, как показано на рис. 2.

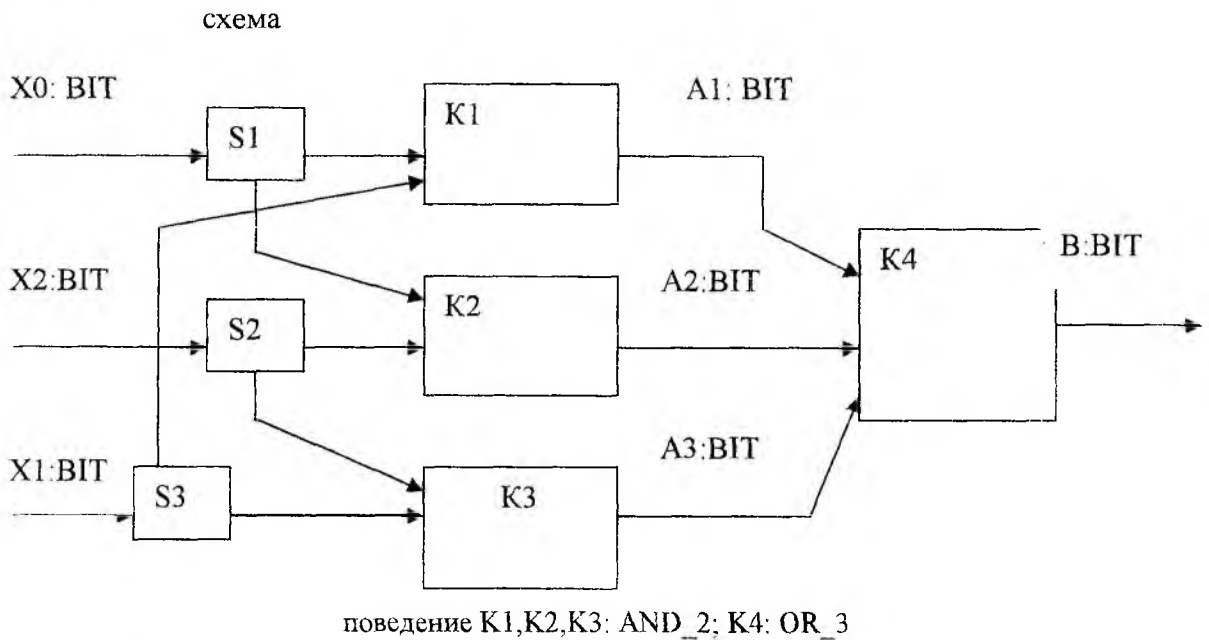


Рис.2. Описание структуры цифрового устройства и его поведения

Структура цифрового устройства описывается графом, узлами которого являются экземпляры компонентов (K1) и соединения (S1), а дугами интерфейсы экземпляров и соединений. Предположим, что имеется система предварительной обработки визуальной информации, представленной на рис.2, трансформирующая исходное описание в строку, которую мы будем называть графовой продукцией. Эта система – аналог лексического анализатора при трансляции. Для схемы, представленной на рис.2, графовая продукция имеет вид.

$$\begin{aligned}
 &K(1=1:X0:in\ BIT;2=2:X2:in\ BIT;3=3:X1:in\ BIT;4=13:out\ BIT)::схема\ K1,K2,K3,S1,S2,S3 \\
 &(W,S1:X0;W,S2:X2;W,S3:X1;S1,K1-1:X0;S1,K2-1:X0;S2,K2-2:X2; \\
 &S2,K3-1:X2;S3,K3-2:X1;S3,K1-2:X1;K1-3,K4-1:A1:BIT; \\
 &K2-3,K4-2:A2:BIT;K3-3,K4-3:A3:BIT;K4-4,W:B:BIT)\ поведение \\
 &K1,K2,K3:AND_2;K4:OR_3
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

То, что находится слева от символа :: есть левая часть продукции, справа – правая часть. В левой части специфицированы входы (in), выходы (out) и внешние интерфейсы схемы.

Обозначение 4=13 указывает, что интерфейсом под номером 4 является соединение схемы, имеющее в списке соединений (правая часть продукции) номер 13. Рассматриваемые нами графы имеют три вида узлов – KI, SI, W. Два вида – KI, SI представлены визуально явно, третий, обозначающий связь с внешней средой, W – неявно. Однако в правой части продукции (3) все узлы представлены в явном виде. Здесь сначала идёт список компонентов и соединений, за которым следует список соединений. Каждое соединение имеет свой порядковый номер.

В соответствии с рис.2 или (что то же самое) с формулой (3) автоматически должна генерироваться программа на языке VHDL.

```

entity K is
port (X0,X1,X2:in BIT, B:out BIT);
end K;
architecture AND_OR of K is
  component AND_2
    port (I1,I2:in BIT; Z:out BIT);
  component OR_3
    port (I1,I2,I3:in BIT; Z:out BIT);
  signal A1,A2,A3:BIT;
begin
  K1: AND_2
    port map (X0,X1,A1);
  K2: AND_2
    port map (X0,X1,A2);
  K3: AND_2
    port map (X1,X2,A3);
  K4: OR_3
    port map (A1,A2,A3,B);
end AND_OR

```

К этой программе должны быть добавлены программы на VHDL, описывающие END_2 и OR_3.

Технически нетрудно написать алгоритм, генерирующий вышеуказанную программу на VHDL, а затем обобщить этот алгоритм на все подобные схемы, если будет известна следующая информация:

- внешние интерфейсы генерируемой схемы, их имена и спецификации (переменная Y1);
- список компонент и их интерфейсы (переменная Y2);
- внутренние сигналы схемы и их спецификация (переменная Y3);
- имена экземпляров компонент и имена сигналов их интерфейса (переменная Y4);
- описание поведения компонент (переменная Y5);
- имя всей схемы (переменная Y6).

Учитывая выше сказанное, можно сформулировать правило (в виде хорновского дизъюнкта, имеющего функциональные термы) ПБЗ, позволяющее генерировать модель:

```

код_VHDL_схема (f(Y1,Y2,Y3,Y4,Y5,Y6)):- внешний_интерфейс(Y1),
                                         компонент(Y2),сигнал(Y3), (4)
                                         экземпляр(Y4),поведение(Y5),
                                         имя (Y6),

```

где f - выше упомянутый обобщенный алгоритм;

Y1,..., Y6 - информация, представленная соответствующей структурой данных.

Правило (4) требует, чтобы в грамматике были нетерминалы, соответствующие литералам: внешний_интерфейс, компонент, сигнал, экземпляр, поведение, имя; а так же атрибуты и семантические правила, позволяющие вычислить конкретизации переменных Y1,..., Y6.

Фрагмент грамматики, вернее СУО, обеспечивающий конкретизацию переменных Y1 и Y6, приведен здесь ниже. Он построен на основе синтаксических закономерностей строки (1) и семантических требований, сформулированных выше.

```

1. <описание_схемы>->.<имя_к>(<интерфейс_к>)::схема <список_к>,<список_s>
    (<список_дуг>) поведение <описание_поведения>
<описание_схемы>.Y1:= <интерфейс_к>.val
<описание_схемы>.Y6:= <имя_к>.r

```

2. $\langle \text{имя_к} \rangle \rightarrow$ идентификатор
 $\langle \text{имя_к} \rangle . i :=$ идентификатор . i
3. $\langle \text{интерфейс_к} \rangle \rightarrow$ $\langle \text{список спецификаций} \rangle$
 $\langle \text{интерфейс_к} \rangle . \text{val} := \langle \text{список_спецификаций} \rangle . \text{val}$
4. $\langle \text{список спецификаций} \rangle \rightarrow$ $\langle \text{список спецификаций} \rangle_1; \langle \text{спецификация} \rangle$
 $\langle \text{список спецификаций} \rangle . \text{val} := \text{list}(\langle \text{список спецификаций} \rangle_1 . \text{val}, \langle \text{спецификация} \rangle . v)$
5. $\langle \text{список спецификаций} \rangle \rightarrow \varepsilon$
 $\langle \text{список спецификаций} \rangle . \text{val} := \text{NIL}$
6. $\langle \text{спецификация} \rangle \rightarrow$ номер=номер:идентификатор:вид:тип
 $\langle \text{спецификация} \rangle . v := f1(\text{идентификатор} . i, \text{вид} . vv, \text{тип} . t)$

В приведенном выше СУО (продукции 1-6) функция f1 составляет последовательность из трёх строк (идентификатора, in или out, тип), функция list накапливает список из троек, сформированных функцией f1. На основе списка и имени схемы задаются значения переменных Y1, Y6, которые хранятся в соответствующих атрибутах $\langle \text{описание_схемы} \rangle . Y1$ и $\langle \text{описание_схемы} \rangle . Y6$. Литералы код VHDL_схема (цель), имя (факт), внешний_интерфейс (факт) генерируются в соответствии с наличием в дереве разбора грамматических символов $\langle \text{описание_схемы} \rangle$, $\langle \text{имя_к} \rangle$, $\langle \text{интерфейс_к} \rangle$, заданных в соответствующем следовании узлов дерева.

Таким образом, предложен способ построения ЭС, решающей задачи проектирования и планирования, на базе трёхкомпонентной модели знаний, большую нагрузку в которой несёт лингвистическая база знаний, реализованная в виде СУО. Предложены способы манипуляции лингвистическими знаниями на синтаксическом уровне. Продемонстрирована методика приобретения знаний на конкретном примере. Предложенный способ создания ЭС обладает большой гибкостью представления комбинации процедурных и декларативных знаний, позволяет получить высокую эффективность функционирования системы и значительно сократить время написания программных моделей проектов, описанных своими компонентами.

Список литературы: 1. Люггер, Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд.: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003.864 с. 2. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. М.: Конкорд, 1992.519с. 3. Ахо А., Сети Р., Ульман Д. Компиляторы: принципы, технологии, инструменты: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2001.768с. 4. Армстронг Дж. Р. Моделирование цифровых систем на языке VHDL: Пер. с англ.М. 1992.175с.

Поступила в редколлегию 29.10.2003

УДК 538.00.00

Н.Д. ВАСИЛЬЕВ, И.И. ЗИМА

МАГНИТНАЯ РОТОРНАЯ ПРЕДИССОЦИАЦИЯ ВОДЫ**Введение**

При решении и моделировании некоторых задач биохимии исследователи сталкиваются с невозможностью объяснения энергетических соотношений протекающих процессов. Примером такой задачи является проблема дистанционного управления параметрами диссоциации воды, существование которой было продемонстрировано в экспериментах с Н.С. Кулагиной и описано в работе [1]. Н.С. Кулагина изменяла приближением руки водородный показатель (рН) воды, находящейся в запаянной пробирке. При этом, как показано в работе, эти изменения не могут считаться термическими, так как не связаны с адекватным повышением температуры воды. В частности, при изменении рН от 7 до 3 температура воды колебалась всего в пределах одного градуса, в то время как ход зависимости рН от температуры воды должен составлять сотни градусов [2].

Цель настоящей статьи заключается в том, чтобы попытаться объяснить этот феномен с позиции роторной бионики. Авторам этого нового направления бионики удалось экспериментально получить аналогичные результаты, которые были опубликованы в [3,4]. Дополнительно в этих работах показано, что руки человека являются источником так называемых роторных излучений, регистрируемых приемником электромагнитных волн и эпителиальными клетками человека. В настоящее время получены новые результаты экспериментов, проведенных с буферными растворами. Они показали, что рН буферных растворов аналогичным образом изменить не удастся. Это свидетельствует о том, что изменения рН при экспериментах с водой связаны не с аномалиями измерений, а действительно с процессом диссоциации.

1 Основы роторной бионики

Роторная бионика базируется на представлениях о человеке как о субъекте информации, в котором циркулирует биоинформация, ответственная за гомеостаз и речь, являющиеся основными составляющими его высшей нервной деятельности. Он обладает соответствующими биофизическими каналами приема и передачи информации, а окружающие его поля содержат соответствующие излучения. В канале речи циркулирует информация об образах и понятиях человека и социума, а в канале гомеостаза – информация о состоянии его органов и всего организма в целом. В работе [5] показана возможность организации и существования каналов биоинформационного обмена на основе роторной компоненты геомагнитного поля.

Роторная компонента образуется благодаря квантовым магнитным переходам частиц между зеемановскими энергетическими уровнями в парамагнетиках, находящихся в условиях естественного магнитного поля Земли. Частицам свойственны особого рода внутреннее роторное движение – вращение вокруг своей оси и особые роторные взаимодействия. Благодаря свойству парамагнетизма вода и кислород атмосферы, гидросферы и биосферы Земли, находящиеся в постоянном геомагнитном поле, формируют поле прецессирующих магнитных моментов. Это поле в дополнение к главной, переменной и аномальной компонентам геомагнитного поля образует его роторную компоненту. Квантовые переходы микро- и макрочастиц происходят путем прецессии опрокидывания их магнитных моментов и сопровождаются излучением роторных магнитных и электромагнитных волн с круговой поляризацией магнитного вектора. Роторная компонента представляет собой суммарный процесс, имеющий волновую природу, и поэтому правомерно применять к ней такие термины, как роторное поле, роторное излучение и т.п.

С позиции роторной бионики биофизическое поле человека представляет собой магнитную ауру, состоящую из роторных магнитных полей органов его тела и мозга. Она содержит информацию о состоянии органов, мыслях и нервной деятельности мозга. Магнитная аура об-

разована прецессирующими суммарными магнитными моментами электронов и протонов, соответствующими геомагнитным энергетическим уровням. Магнитные моменты, соответствующие верхнему энергетическому уровню, направлены против геомагнитного поля, а соответствующие нижнему – по полю. Прецессирующие уровневые моменты описывают в пространстве двойной конус, напоминающий как бы два крыла "магнитной бабочки". При возникновении прецессии опрокидывания "магнитная бабочка" машет своими крыльями, образуя магнитную ауру, окружающую тело человека и имеющую форму тора.

Два человека, находясь в геомагнитном поле, могут взаимодействовать посредством роторной индукции, а также магнитных и электромагнитных сигналов. Посредством роторной индукции может осуществляться взаимодействие малой дальности, а посредством сигналов – большой.

Роторная индукция человеческого тела связана с прецессией его магнитных уровневых моментов и изменением магнитного потока, пронизывающего окружающее пространство. Благодаря прецессии вращения уровневые магнитные моменты отклоняются от направления вектора геомагнитного поля, и в процессе вращения воздействуют на другие человеческие тела, проводники с током и без тока, на электрически заряженные частицы, обладающие магнитным моментом и находящиеся в магнитной ауре. Воздействие на точечные объекты представляет собой последовательность магнитных импульсов, следующих с частотой, равной частоте прецессии.

Излучение человеком роторных сигналов связано с прецессией опрокидывания его уровневых магнитных моментов. Экспериментально установлено, что человек способен излучать два вида сигналов: информационный и тревоги. Информационный – представляет собой непрерывный шумоподобный сигнал, а тревоги – одиночные импульсы. Человек, которому эти сигналы адресованы, принимает их в виде синхронной последовательности воздействий. Сигналы, которые ему не адресованы, он принимает в виде несинхронной помехи.

Таким образом, образуется открытая глобальная система обмена биоинформацией, в которой роторная компонента геомагнитного поля выполняет функции среды распространения и хранения сигналов, а человек – функции их источника и приемника. Технические характеристики такой системы определяются возможностями человека. Благодаря открытости этой системы человек постоянно обменивается информацией с социумом и окружающей средой и, видимо, поэтому обладает интуицией. При этом на него могут быть оказаны преднамеренные биоинформационные и биоэнергетические воздействия, и он сам может оказывать как положительные, так и отрицательные воздействия.

Условно можно под биоинформационным воздействием понимать воздействие на биофизический канал речи человека и элементы информационной техники, а под биоэнергетическим – воздействие на биофизический канал гомеостаза. Для биоинформационных взаимодействий характерной является направленность воздействий на введение избыточности или создание дефицита информации в канале. В рамках информационных аспектов роторной бионики могут быть поставлены, например, задачи, связанные с обеспечением здоровья, высокой работоспособности, взаимопонимания и совместимости субъектов информации, социума и природы. Биоэнергетические взаимодействия направлены на достижение функциональных изменений, например, за счет повышения предельных возможностей человеческого организма, изменения массы и структуры социума, динамики принятия и решения социозадач. Условно можно выделить два вида биоэнергетических воздействий: физиологическое и психологическое. К физиологическому воздействию можно отнести лечение, реабилитацию и оздоровление людей, а к психологическим – психокоррекцию, воспитание коллективизма, фанатизма и т.п.

Существует также биоэнергетическое взаимодействие между человеком и природой. Оно может быть непосредственным и опосредованным.

Непосредственно природа влияет на человека через три основные составляющие его здоровья: воду, воздух, пищу. Показателями ее воздействия является состояние физического и нравственного здоровья человека, нации, общества. Человек воздействует на природу посредством техники и технологий производства, истощающие и отравляющие атмосферу, гидросферу и биосферу Земли. Следствиями деятельности социума являются: озоновые дыры, парниковый эффект, всемирное потепление, ядерная зима, кислотные дожди, таяние материковых ледников, губительная радиация и т.п.

Опосредованное взаимодействие человека и природы происходит через роторную компоненту геомагнитного поля. Так, человек реагирует на изменение магнитной активности Солнца и Космоса, прохождение атмосферных метеорологических фронтов, излучения мониторов ЭВМ и пультов управления и другие процессы, сопровождающиеся роторными излучениями. Эти роторные излучения изменяют ритмы взаимодействий в веществе и живой природе и влияют, прежде всего, на чувствительные рецепторы анализаторов, систему терморегуляции и центральную нервную систему человека, вызывая их перегрузку с вытекающими отсюда расстройствами жизнедеятельности и социальности. Аварии на объектах нефтехимии, в авиации, в энергосистемах и других экологически опасных объектах приводят к техногенным катастрофам, влияющим на экологию природы.

2 Магнитная роторная преддиссоциация

Биоинформационное и биоэнергетическое взаимодействие между людьми и природой возможно благодаря тому, что человек на 70 % состоит из воды. Как было показано выше, экспериментально зарегистрировано дистанционное воздействие человека на кислотность воды, влияющее на диссоциацию ее молекул и гомеостаз организма.

Диссоциация молекул вещества – это разрыв химических связей между атомами, который происходит за счет поглощения внешней энергии и внутренних столкновений. Поскольку кванты энергии роторных излучений малы [3], то их влияние непосредственно на диссоциацию молекул воды весьма проблематично, поэтому в настоящей работе рассматривается возможность магнитной подготовки молекул к диссоциации – преддиссоциации.

Традиционно считается [6], что преддиссоциация вещества происходит за счет внешней энергии фотонов и заключается в переводе молекул в особое активное состояние, предшествующее их распаду. Как утверждает квантовая механика, для молекулы, находящейся в возбужденном состоянии (на высоком колебательном уровне), есть две возможности: либо вернуться в более низкое энергетическое состояние путем излучения кванта, либо использовать избыток энергии на разрыв химической связи. Возможна также диссоциация молекул за счет столкновений. При этом главную роль играет их колебательная энергия и отчасти – вращательная. Обычно в результате одного столкновения передается один колебательный квант. При последовательных столкновениях возможно накопление колебательной энергии молекулы, приводящее к ее диссоциации. В сложных молекулах накопление колебательной энергии идет по всем связям и может сосредоточиться на одной из них, самой слабой, вызывая ее разрыв.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что возможно существование и других механизмов преддиссоциации. В частности, в настоящей работе рассматривается явление магнитной роторной преддиссоциации, основанное на снижении прочности связей молекул. Это процесс перевода молекул в особое состояние, предшествующее диссоциации, заключающийся в ослаблении их молекулярных связей за счет возбуждения прецессии магнитных моментов протонов и электронов атомов роторными волнами. Вследствие уменьшения прочности внутренних и внешних связей происходит подготовка молекул к диссоциации, которая затем спонтанно происходит при их соударениях. В результате магнитной роторной преддиссоциации происходит увеличение степени диссоциации вещества при неизменных температуре и давлении. Наступление роторной магнитной преддиссоциации воды обнаруживается по изменению водо-

родного показателя также и при действии других факторов, возбуждающих прецессию магнитных моментов протонов и электронов, образующих ее ковалентные и водородные связи.

Для обнаружения роторной магнитной преддиссоциации могут быть использованы методы магнитного резонанса и роторной спектроскопии [7]. Теоретической основой магнитной роторной преддиссоциации является роторный геомагнетизм [8]. Это новое научное направление, в котором при обсуждении вопросов строения вещества и физики, происходящих в нем процессов, во главу угла ставится вращение (ротация) элементарных частиц вокруг своей оси и влияние на его свойства геомагнитного поля. При решении задач с такой постановкой электрическая природа молекулярных связей дополняется магнитной, обусловленной роторным взаимодействием между частицами. При этом внешнюю вытянутую орбиталь атома рассматривают как два параллельных проводника с антипараллельными токами. В таком случае магнитные поля между проводами складываются, в то время как во внешних областях происходит их компенсация. То есть орбиталь является источником магнитного поля, которое как бы упаковано внутри объема орбитали и внешне ограничено ее геометрией. Следовательно, можно утверждать, что магнитное поле плоской орбитали имеет узконаправленную веретенообразную диаграмму направленности, форма и размеры которой обусловлены геометрией самой орбитали. Диаграмма направленности может быть описана волновой функцией орбитали, получаемой в результате решения уравнения Шредингера. Орбиталь представляет собой как бы плоский полосовой магнит, у которого орбитальный магнитный момент перпендикулярен ее плоскости. Для того, чтобы к такому магниту мог "прилипнуть" другой магнит, его ось должна совпадать в пространстве с биссектрисой диаграммы направленности орбитали, а магнитный момента должен быть антипараллельным. Если в качестве другого магнита рассматривается элементарная частица, то она должна выстроиться в кильватер с орбиталью, а ее магнитный момент должен стать антипараллельно магнитному полю орбитали. Применительно к атому кислорода, если такой частицей является электрон атома водорода, может образоваться магнитная ковалентная связь, а если протон – то магнитная водородная связь.

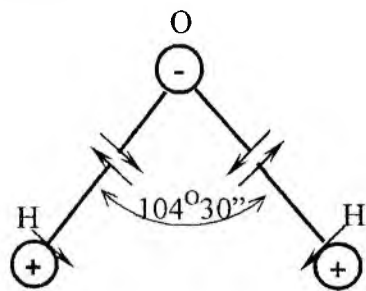


Рис. 1

С учетом сказанного, можно представить следующую модель молекулы воды, рис. 1.

Молекула воды образуется двумя ковалентными связями $\uparrow\downarrow$ валентных электронов кислорода и водорода, имеющих нескомпенсированные магнитные моменты. Магнитные моменты остальных электронов и ядра атома кислорода скомпенсированы, поэтому на схеме он показан кружком \ominus . Атом водорода имеет нескомпенсированный магнитный момент протона, ориентированный антипараллельно валентному электрону и обозначен знаком $\uparrow\oplus$. Так как магнитные моменты электронов ковалентных связей взаимно компенсируются, то магнитные роторные свойства молекулы воды в целом определяется главным образом ротацией магнитных моментов протонов.

В молекулах воды диссоциация происходит преимущественно по гетеролитическому типу, то есть без разрыва электронной пары и с образованием двух ионов H^+ и OH^- . Слабым звеном молекулы является связь, удерживающая в ее составе протон. Как видно из модели, это звено создает предпосылку и для существования магнитной роторной преддиссоциации под действием роторных волн.

Условием магнитной роторной преддиссоциации воды является совпадение частоты и направления вращения магнитного вектора роторной волны и магнитного момента протона. В этом случае увеличивается угол прецессии магнитного момента протона, благодаря чему у него увеличивается поперечная составляющая и уменьшается продольная, удерживающая протон в составе молекулы. Прочность магнитной связи протона уменьшается и создается предрасположенность молекулы к диссоциации при неизменных температуре и давлении.

По-видимому, такой механизм преддиссоциации может работать и в молекулах других протонсодержащих веществ. Следует отметить, что при воздействии роторных полей на протоны воды одновременно происходит разрушение водородных связей между ее молекулами, что облегчает внешние условия их диссоциации. Кроме того, магнитная роторная преддиссоциация может быть вызвана также за счет селективного воздействия на электроны ковалентных связей роторным магнитным или электромагнитным полем, вращающимся в одном направлении с магнитным моментом одного из них. В этом случае диссоциация воды может происходить по гомолитическому типу с образованием радикалов H и OH .

Современная химия учитывает влияние ориентации магнитных моментов частиц на диссоциацию молекул, постулируя принцип Паули применительно к электронным ковалентным связям. При этом для иллюстрации различных механизмов диссоциации используется метод потенциальных кривых [6]. С помощью этого метода могут быть качественно проиллюстрированы различия между классической и роторной преддиссоциациями. На рис. 2 приведены потенциальные кривые (1) и кривые отталкивания (2) двухатомной молекулы. Потенциальная кривая – это зависимость потенциальной энергии $U(r)$ молекулы от расстояния между ее ядрами r для случая антипараллельности магнитных моментов электронов ковалентной связи. Кривая отталкивания соответствует случаю параллельности магнитных моментов. Молекула, приведенная в соответствующее этой кривой состояние, немедленно диссоциирует. Такой переход возможен в точках пересечения потенциальной кривой и кривой отталкивания. На рис. 2а показано, как при классической диссоциации путем облучения светом молекула переводится в возбужденное состояние. Этому случаю соответствует кривая (1'). При роторной преддиссоциации молекула может распасться при том же r , находясь в основном состоянии. За счет воздействия роторных волн понижается уровень энергии отталкивания молекулы, что иллюстрируется кривой 2' на рис. 2б. Ослабление магнитных связей молекулы приводит к опусканию кривой отталкивания и ее размыванию в полосу, ширина которой определяется диапазоном углов прецессии магнитных моментов. При этом в областях наибольшего и наименьшего сближения ядер создаются условия (вероятность) перехода на кривую отталкивания, что облегчает диссоциацию молекул за счет их взаимных столкновений без изменения внешних условий. Более того, при достижении угла прецессии 90° магнитные связи молекулы становятся равными нулю и силы электрического отталкивания разрывают ковалентные связи между атомами, вызывая их диссоциацию. При угле прецессии, большем 90° , силы магнитного отталкивания дополняют действие сил электрических за счет опрокидывания магнитного момента одного электрона из положения антипараллельно в положение – параллельно.

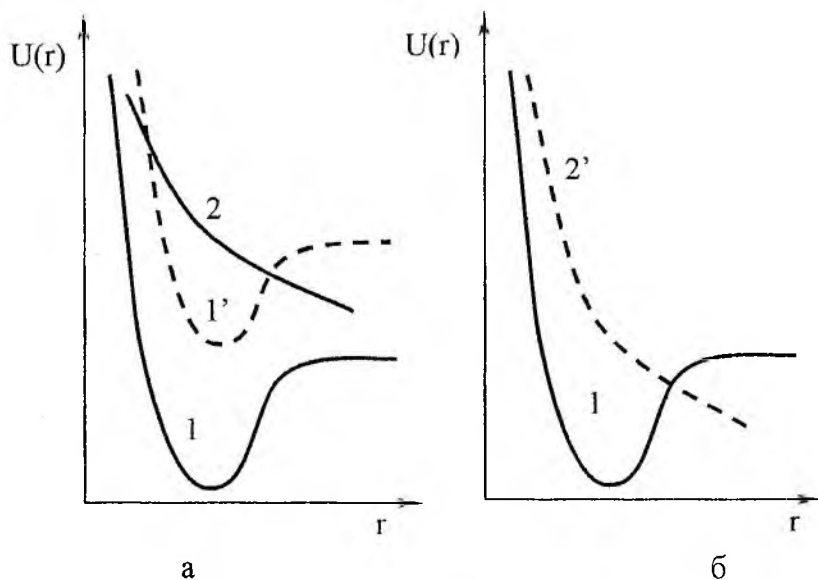


Рис. 2

Явление роторной преддиссоциации представляет большой интерес с энергетической точки зрения, так как при затрате небольших количеств энергии, меньших энергии диссоциации, удается вызвать распад молекулы. Из приведенных рисунков видно, что по-видимому интересным является случай комбинированного фотонно-роторного воздействия на вещество.

На основании приведенных рассуждений можно утверждать, что разновидностью магнитной роторной преддиссоциации является так называемая индуцированная преддиссоциация, при которой молекулы газов I_2 , Br_2 , Te_2 , S_2 , N_2 , NO спонтанно диссоциируют при действии света в присутствии атомов кислорода [6]. Влияние кислорода можно объяснить тем, что его атом является бирадикалом, имеющим два электрона с нескомпенсированными магнитными моментами. Так как прецессирующие магнитные моменты кислорода обладают роторной индукцией, то в процессе вращения они воздействуют на магнитные моменты молекул других газов. Внесение прецессирующих магнитных моментов кислорода в газовую среду эквивалентно включению генератора роторных волн, работающего на гиромангнитной частоте электронов и ослабляющего ковалентные связи молекул указанных газов.

Возвращаясь к постановке задачи настоящей статьи, можно предположить, что на основе явления роторной магнитной преддиссоциации возможно объяснение и других эффектов, продемонстрированных в экспериментах Н.С. Кулагиной, в частности эффектов химических ожогов, гиперпигментации и засвечивания фотобумаги, находящейся в черной упаковке [1].

Выводы

По мнению авторов введение в практику исследований представлений о магнитной роторной природе ковалентных и водородных связей и их преддиссоциации представляет новый этап в развитии науки о молекулярных механизмах явлений, происходящих в водной среде и живых организмах.

Полученные результаты могут стать фундаментом для создания нового направления бионики и методологии нетравмирующего лечения различных больных.

Список литературы: 1. *Свищева Т.Я.* Инфаркт – это рак сердца. СПб: ДИЛЯ, 2000. 2. Краткий справочник по химии. К., 1987. 3. *Исследование населенностей геомагнитных энергетических уровней воды с учетом протолитической диссоциации / И.И. Зима, Н.Н. Григорьева, Н.Д. Васильев, А.В. Кравченко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 55.* 4. *Зима И.И., Григорьева Н.Н., Васильев Н.Д.* Совместное использование методов внутриклеточного микроэлектрофореза и магнитной роторной спектроскопии для повышения достоверности тестирования работоспособности оператора – субъекта информации // Сб. науч. трудов ХТУРЭ. Харьков, 2001. 5. *Зима И.И., Богданов Г.Ф.* Социоинформационные и социоэнергетические аспекты роторного геомагнетизма // Социоэнергетика: Науч. сб. / Под ред. А.Д.Кашпура. Х.:Экограф, 2001. Вып. 2. 6. *Панченков Г.М., Лебедев В.П.* Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985. 7. *Зима И.И., Богданов Г.Ф., Нечаев А.В.* Роторная спектроскопия потоков больших энергий // Вестник ХГПУ. Харьков. 1999. Вып. 75. 8. *Зима И.И.* Роторный геомагнетизм. Некоторые аспекты. Х.: Курсор, 2002.

Поступила в редколлегию 17.09.2003

УДК 519.95:612.018

С.И. ЛАПТА

ПОВЫШЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПТТГ (на основе компьютерного моделирования динамики гликемии)

1 Введение. Постановка и актуальность рассматриваемой проблемы. Известно, что явные формы сахарного диабета (СД) сопровождается очевидными симптомами: полиурией, глюкозурией, жаждой. Для подтверждения диагноза достаточно лишь один раз зарегистрировать гипергликемию. Проблему представляет лишь ранняя диагностика СД 2-го типа, когда он находится еще в латентной, скрытой форме, называемой нарушением толерантности к глюкозе (НТГ) (рис. 1), но уже сопровождается поздними сосудистыми осложнениями. Помимо отсутствия явных признаков, НТГ принципиально отличается от неизлечимого в полном смысле слова СД тем, что может нормализоваться, даже спонтанно.

В последнее время в диабетологии ведется оживленная полемика вокруг взаимосвязанных вопросов целесообразности выделения состояния с НТГ и использования для его диагностики перорального теста толерантности к глюкозе (ПТТГ). Представление об этой дискуссии дает обзор [1]. Обсуждаемая проблема, в конечном счете, обусловлена неудовлетворительной информативностью ПТТГ, который в этом смысле сейчас не намного превосходит базальное значение гликемии, и отсутствием других надежных альтернативных методов лабораторной диагностики НТГ [2].

Идея возможности повышения информативности ПТТГ с помощью компьютерных технологий, биотехнической системы (БТС) диагностики была высказана давно [3,4], однако она до сих пор не была реализована. Актуальность такого инженерного решения проблемы повышения эффективности ПТТГ в настоящее время возросла в связи с развернувшейся дискуссией в диабетологии.

В основе гипотетической БТС диагностики СД находится математическая модель процессов углеводного обмена, физиологически адекватно воспроизводящая их [4]. Предполагается, что по значениям параметров этой модели, индивидуализированной для обследуемого пациента в соответствии с гликемическими данными проведенного у него ПТТГ, и по их отклонению от их нормальных значений можно будет осуществлять диагностику СД и близких к нему состояний с НТГ.

2 Предшествующие исследования по данной проблеме, неразрешенные ранее ее аспекты. Несмотря на полувековую историю математического моделирования процессов углеводного обмена [3-9], до последнего времени не было достаточно адекватной модели этих процессов, на основе которой можно было бы построить реальную, эффективную БТС диагностики СД. Для практической пригодности такая система должна строиться на основе гликемических данных простого удобного ПТТГ. Они, как известно, определяются не только состоянием диагностируемой системы регуляции углеводного обмена, но также и не поддающимися контролю энтеральными факторами [10]. Влиянию этих энтеральных помех, оценке их вклада в данные ПТТГ в математическом моделировании процессов углеводного обмена до последнего времени практически не уделялось внимание. С другой стороны, и са-

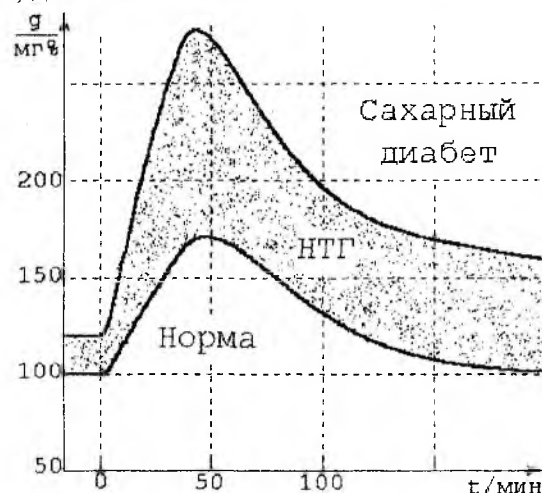


Рис. 1. Граничные гликемические кривые ПТТГ, отделяющие состояния, классифицируемые, как норма, НТГ и СД CL СД

ми попытки описания динамики гликемии, предлагавшиеся до сих пор, физиологически неадекватны. Их следует классифицировать лишь как формальные аппроксимации, а не как математические модели.

Действительно, все известные до последнего времени математические модели динамики гликемии и углеводного обмена по построению, области применимости, а отчасти и хронологически подразделяются на три достаточно обособленные группы. Первая из них состоит из феноменологической модели Конарда (1953) [5] для гликемии $g(t)$

$$g(t) = g_0 e^{-k(t-t_0)}, \quad g_0 = g(t_0), \quad k > 0 \quad (1)$$

и ее модификации, предложенной Древалем [8]

$$g(t) = g_b + (g_0 - g_b) e^{-q(t-t_0)}, \quad g_0 = g(t_0), \quad q > 0, \quad (2)$$

где g_b - базальное значение гликемии.

Эти модели описывают спадающий участок гликемической кривой внутривенного теста толерантности к глюкозе (ВТТГ). Предложенные медиками и используемые ими при возможности проведения ВТТГ, они не оказали влияния на дальнейшие разработки математического моделирования процессов углеводного обмена, которые следует отнести ко второй группе. В ее основе находится гипотетическая интегральная модель Болье (1961) [3]. В упрощенной однокомпарментной форме она имеет вид [6]:

$$\begin{cases} V g' = f_1(g, i) + G', \\ V i' = f_2(g, i) + I', \end{cases} \quad (3)$$

где V -- объем компартмента;

$g = g(t)$ - гликемия;

$i = i(t)$ - инсулинемия, штрих означает производную по времени;

$G' = G'(t)$ ($I' = I'(t)$) - интенсивность поступления в компартмент экзогенной глюкозы (инсулина) соответственно.

Следует заметить, что в литературе по математическому моделированию процессов углеводного обмена за этой моделью, равно как и за хронологически следующей за ней моделью Бергмана-Кобелли закрепился методологически ошибочный термин "минимальная". Действительно минимальными в смысле числа уравнений и описываемых ими переменных являются феноменологические модели динамики гликемии Конарда и Древаля. Модель Болье для гликемии и инсулинемии даже всего из двух гипотетических уравнений уже составная или иначе -- интегральная модель.

С математикой точки зрения модель Болье (3) является нормальной системой двух дифференциальных уравнений 1-го порядка относительно гликемии и инсулинемии. Поэтому она эквивалентна одному дифференциальному уравнению 2-го порядка относительно гликемии [11] и позволяет воспроизведение осцилляций [12]. Однако первое уравнение системы (3) опирается на гипотетическую физиологически неадекватную взаимосвязь динамики гликемии и инсулинемии. В настоящее время в физиологии и диабетологии хорошо известно, что скорость утилизации глюкозы определяется не уровнем инсулина в крови, а интенсивностью его поступления в кровь [13]. Поэтому воспроизведение моделью Болье осциллирующей кривой, подобной гликемической кривой ПТТГ, следует рассматривать как простую аппроксимацию, а не как математическое моделирование динамики гликемии. Как и все аппроксимации, модель Болье узко специфична, в частности она в принципе не пригодна для описания экспоненциального спадания гликемической кривой ВТТГ.

Модель Болье была механически обобщена на множество компартментов. При этом были получены модели, названные интегральными, номинально описывающие все многообра-

зие физиологических процессов, имеющих отношение к углеводному обмену, однако громоздкие и практически непригодные.

Третью группу моделей составляют модификации модели Бергмана-Кобелли (1979) [7], описывающие гликемическую кривую ВТТГ:

$$\begin{cases} \frac{dg(t)}{dt} = -\alpha [g(t) - g_b] - X(t)g(t), & g(0) = g_0, \\ \frac{dX(t)}{dt} = -\beta X(t) + \gamma [i(t) - i_b], & X(0) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $g(t)$ и $i(t)$ так же, как и ранее, гликемия и инсулинемия; g_b и i_b – их базальные значения; $X(t)$ – не имеющая четкого физиологического смысла принципиально не измеряемая величина, которую авторы назвали "инсулин на периферии"; α , β , γ – числовые коэффициенты. Позже авторы попытались дополнить систему уравнений (4) третьим уравнением, описывающим динамику инсулина, но неудачно. Радикальная переработка Бергманом и Кобелли модели Болье не затронула, однако, физиологической неадекватности ее первого уравнения. Поэтому модель Бергмана-Кобелли также физиологически неадекватна. Ее следует рассматривать лишь как хорошую аппроксимацию гликемической кривой ВТТГ после окончания процесса внутривенной инъекции глюкозы. К этой третьей группе моделей при- мыкает и модель Гаetano-Арино (2000) [9]

$$\begin{cases} \frac{dg(t)}{dt} = -\alpha g(t) - \beta i(t)g(t) + \gamma, & g(0) = g_0, \quad g(t) = g_b \quad \forall t \in [-\tau, 0], \\ \frac{di(t)}{dt} = -\lambda i(t) + \mu \int_{t-\tau}^t g(s) ds, & i(0) = i_0. \end{cases} \quad (5)$$

Гипотетические положения, противоречащие физиологическим и клиническим данным, использованные при построении моделей (3)-(5), привели к их принципиальной ограниченности, которая естественна для аппроксимаций, но не для математических моделей в полном смысле слова. Поэтому они не пригодны для построения БТС диагностики СД.

3 Цель статьи. Разработка системы диагностики СД и НТГ на основе новой математической модели ПТТГ, предложенной автором этой статьи в работе [14].

4 Материалы и методы исследования. Автором данной статьи для описания динамики гликемии при ПТТГ была предложена оригинальная модель [14], соответствующая известным физиологическим представлениям об углеводном обмене и клиническим данным. В отличие от всех предшествующих моделей в ней применено единственное физиологически непротиворечивое описание осцилляций гликемической кривой дифференциальным уравнением 1-го порядка с запаздывающим аргументом и физиологически адекватно описано поступление глюкозы в кровь из кишечника. Поэтому эта модель является перспективной для построения эффективной системы ранней диагностики СД 2-го типа (дифференциальной диагностики НТГ).

Благодаря известной однонаправленности процессов абсорбции глюкозы в кровь из кишечника и отсутствию обратного влияния уровня гликемии на их интенсивность общая задача динамики гликемии с учетом энтерального поступления глюкозы распадается на две отдельные более простые задачи. Первая из них состоит в описании динамики гликемии при известной функции $f(t)$ поступления экзогенной глюкозы в кровь [14]:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= (1-\alpha)f(t) - \beta^- Es(y(t-\tau)) + \beta^+ Es(-y(t-\tau)) - \gamma Es(y(t-1)) - & t \geq 0, \\ &- \delta Es(g(t-1) - g^*), & \\ y(t) &= \phi(t) = 0, & -\tau \leq t < 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь $y(t) = g(t) - g_b$ – отклонение текущего уровня гликемии $g(t)$ от его базального значения g_b ; g^* – почечный порог глюкозурии; $Es(z) = ze(z)$ – пороговая функция, где $e(z)$ – единичная функция Хевисайда; τ – время запаздывания в инерционной составляющей эндокринной регуляции; α , β^\mp , γ , δ , g^* – числовые параметры, причем индекс "-" у параметра β берут при положительных значениях функции $y(t)$, а "+" при ее отрицательных значениях, в соответствии с направлением изменения уровня гликемии при этом. Запаздывание в 1 минуту в двух последних слагаемых правой части уравнения (6) связано с учетом физиологически минимального времени запаздывания, которое обусловлено временем оборота крови по кровеносной системе и ее перемешивания [15].

Во второй задаче находится вид функции $f(t)$ всасывания глюкозы в кишечнике [14]. Этот процесс составной, он происходит в два этапа прохождения глюкозы через два одно-клеточных слоя-барьера, разделенных межклеточным итерстициальным пространством. Согласно [14], интенсивность прохождения глюкозой 1-го барьера равна

$$\varphi(t) = A \frac{e^{\lambda Q} - 1}{e^{\lambda A t} + e^{\lambda Q} - 1},$$

где A – ее предельно возможная максимальная величина, λ – параметр, характеризующий "скорость" выхода на нее при возрастании концентрации глюкозы в кишечнике, Q – доза глюкозной нагрузки, нормированная на 100 мл крови (при стандартной пероральной нагрузке в 75 г $Q = 1500$ мг%). Интенсивность прохождения глюкозой 2-го барьера или иначе скорость поступления глюкозы в кровь определяется выражением [14]

$$f(t) = \mu B \frac{\int_0^t \varphi(s) ds - \mu B t \int_0^t \varphi(u) e^{-\mu B u} du}{1 + \mu e^{\int_0^t \varphi(s) ds - \mu B t} \int_0^t \varphi(u) e^{-\mu B u} du},$$

где B и μ – величины, имеющие на втором барьере тот же смысл, что A и λ на первом барьере. Для нахождения значений параметров A , B , λ , μ этой вспомогательной модели в случае нормального всасывания глюкозы в кишечнике были использованы справочные клинические данные внутривенного и перорального тестов, приведенные в [16]. При их сопоставлении с помощью основной модели динамики гликемии (6) в [14] было проведено восстановление функции всасывания глюкозы $f(t)$, которая затем была использована для идентификации значений параметров A , B , λ , μ :

$$A = B = 30 \frac{\text{мг}\%}{\text{мин}}; \quad \lambda = 0,003 \frac{1}{\text{мг}\%}; \quad \mu = 0,05 \frac{1}{\text{мг}\%}.$$

Проверка адекватности новой модели динамики гликемии проведена на клинических данных ПТТГ, полученных в клинике Института эндокринной патологии АМН Украины. Клинические данные, соответствующие норме, границам между нормой и НТГ, между НТГ и

СД взяты из справочной литературы [16].

5 Результаты исследования. Численное решение уравнения (6) проводилось методом пошагового интегрирования с шагом в одну минуту. В каждый момент времени t определенный интеграл, следующий из этого уравнения,

$$y(t) = \int_0^t [(1 - \alpha)f(s) - \beta^- Es(y(s - \tau)) - \gamma Es(y(s - 1)) + \beta^+ Es(-y(s - \tau)) - \delta Es(g(s - 1) - g^*)] ds \quad (7)$$

вычислялся с помощью квадратурной формулы трапеций с шагом единица. При этом была получена рекуррентная формула для нахождения значений искомой функции $y(t)$ в эквидистантных точках:

$$y[m] = y[m - 1] + \frac{1}{2}(\phi[m - 1] + \phi[m]), \quad m = 2, 3, 4, \dots; \quad y[1 - \tau] = y[2 - \tau] = \dots = y[0] = 0, \quad (8)$$

по которой непосредственно проводились вычисления.

Численный анализ модели (6) по формуле (8) проводился в системе для инженерных расчетов MatLab 6.1. В предположении нормальной работы почек параметры модели g^* и δ рассматривались как известные константы: $g^* = 170 \text{ мг\%}$, $\delta = 0,02 \text{ мин}^{-1}$. Числовые значения параметров $\alpha, \beta^-, \gamma, \beta^+$ и τ находились в процессе численных модельных экспериментов в соответствии с клиническими гликемическими данными обследуемого пациента стандартными методами оптимизации, которые состоят в минимизации целевой функции

$$F(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y(t_i, X) - y^*(t_i)|^2, \quad (9)$$

где $X = (\alpha, \beta^-, \gamma, \beta^+, \tau)$ – вектор параметров, N – число проведенных измерений гликемии, $y^*(t_i)$ – клиническое значение отклонения уровня гликемии от его базального значения, измеренное в момент времени t_i , $y(t_i, X)$ – значение функции (7), принимаемое в момент времени t_i .

Оптимизация подбора численных значений параметров модели по клиническим гликемическим данным ПТТГ проводилась с использованием пакета расширения MatLab 6.1 Maximization (программа Lsqcurvefit). Представление о хорошей степени соответствия клиническим гликемическим данным расчетной модельной кривой, значения параметров которой оптимальным образом подобраны по этим же данным на компьютере при минимизации целевой функции (9), дает рис. 2.

При проведении идентификации параметров модели по нормальным справочным гликемическим данным ПТТГ [11] были получены такие их значения:

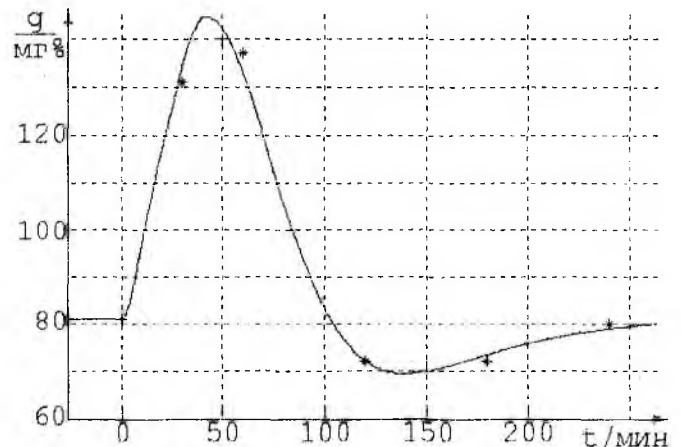


Рис. 2. Модельная гликемическая кривая, полученная при компьютерной идентификации параметров модели (6): $\alpha = 0,6135$;

$$\beta^- = 0,0123 \text{ мин}^{-1}; \quad \gamma = 0,0320 \text{ мин}^{-1};$$

$$\beta^+ = 0,0172 \text{ мин}^{-1}, \quad \tau = 36 \text{ мин}$$

по клиническим гликемическим данным ПТТГ, которые изображены на рисунке символом *

$$g_b = 80 \text{ мг\%}, \alpha = 0,94,$$

$$\beta^- = 0,010 \text{ мин}^{-1}, \gamma = 0,020 \text{ мин}^{-1},$$

$$\beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}, g^* = 170 \text{ мг\%},$$

$$\delta = 0,02 \text{ мин}^{-1}, \tau = 36 \text{ мин}.$$

Граничная гликемическая кривая, отделяющая норму от состояний с НТГ (рис. 1), получается при следующих значениях параметров модели:

$$g_b = 100 \text{ мг\%}, \alpha = 0,94,$$

$$\beta^- = 0,009 \text{ мин}^{-1}, \gamma = 0,006 \text{ мин}^{-1}, \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}, g^* = 170 \text{ мг\%}, \delta = 0,02 \text{ мин}^{-1},$$

$$\tau = 36 \text{ мин}.$$

Аналогично границе между НТГ и СД (рис. 1) соответствует такой набор значений параметров:

$$g_b = 120 \text{ мг\%}, \alpha = 0,85,$$

$$\beta^- = 0,007 \text{ мин}^{-1}, \gamma = 0,001 \text{ мин}^{-1}, \beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}, g^* = 170 \text{ мг\%}, \delta = 0,02 \text{ мин}^{-1},$$

$$\tau = 36 \text{ мин}.$$

Новая модель учитывает основные физиологические процессы, определяющие динамику гликемии. Все ее параметры имеют конкретный физиологический смысл. Численные значения каждого параметра определяют вид гликемической кривой на соответствующем ее участке (рис. 3).

Максимум посталиментарного подъема уровня глюкозы в крови определяется в основном значением параметра α (рис. 3, а). Чем меньше его значение $0 \leq \alpha \leq 1$, тем выше максимальный подъем гликемической кривой. Заслуживает внимания, что в предельном случае $\alpha = 0$ (полного отсутствия работы мощного канала утилизации глюкозы, стимулируемого интенсивностью ее экзогенного поступления) максимальный подъем гликемической кривой более чем в шесть раз превосходит норму (кривая 4 на этом рисунке). Однако даже при этом, в случае нормального функционирования остальных каналов ее утилизации, гликемическая кривая все же вписывается в общепризнанные критерии нормы по остальным признакам (значению гликемии через 2 часа после нагрузки и наличию гипогликемической фазы).

Максимальный подъем гликемической кривой возрастает также с увеличением дозы глюкозной нагрузки, но нелинейно с выходом на плато насыщения (рис. 4). Гликемические кривые 1 – 5 на этом рисунке соответствуют дозе пероральной глюкозной нагрузки, нормированной на 100 мл крови, равной 375, 750, 1500 (стандартная нагрузка), 2500 и 3500 мг%. Здесь же приведены также соответствующие кривые функции всасывания глюкозы в кишечнике $f(t)$.

Спадающий участок гликемической кривой ПТГ переходного процесса (понижения уровня гликемии) описывается параметрами β^- , γ , δ , а также отчасти и параметром τ . В норме и при НТГ значение параметра τ изменяется незначительно в пределах от 30 до 40 минут, поэтому его можно считать константой: $\tau = 36 \text{ мин}$. Начало спадающего участка гликемической кривой определяется в основном значениями параметров γ и δ (рис. 3, б). При этом влияние параметра δ сказывается лишь при превышении почечного порога глюкозурии g^* .

Характер гликемической кривой в конце участка ее спадания определяется в основном значением параметра β^- (рис. 3, в). При $\beta^- = 0$ (кривая 4 на этом рисунке) полностью отсутствует вклад в ауторегуляцию уровня гликемии канала обратной отрицательной связи с запаздыванием, и переходный процесс при этом носит аperiодический характер. Усиление этого канала ауторегуляции (увеличение значения параметра β^-) приводит к появлению осцилляций гликемической кривой и к их увеличению.

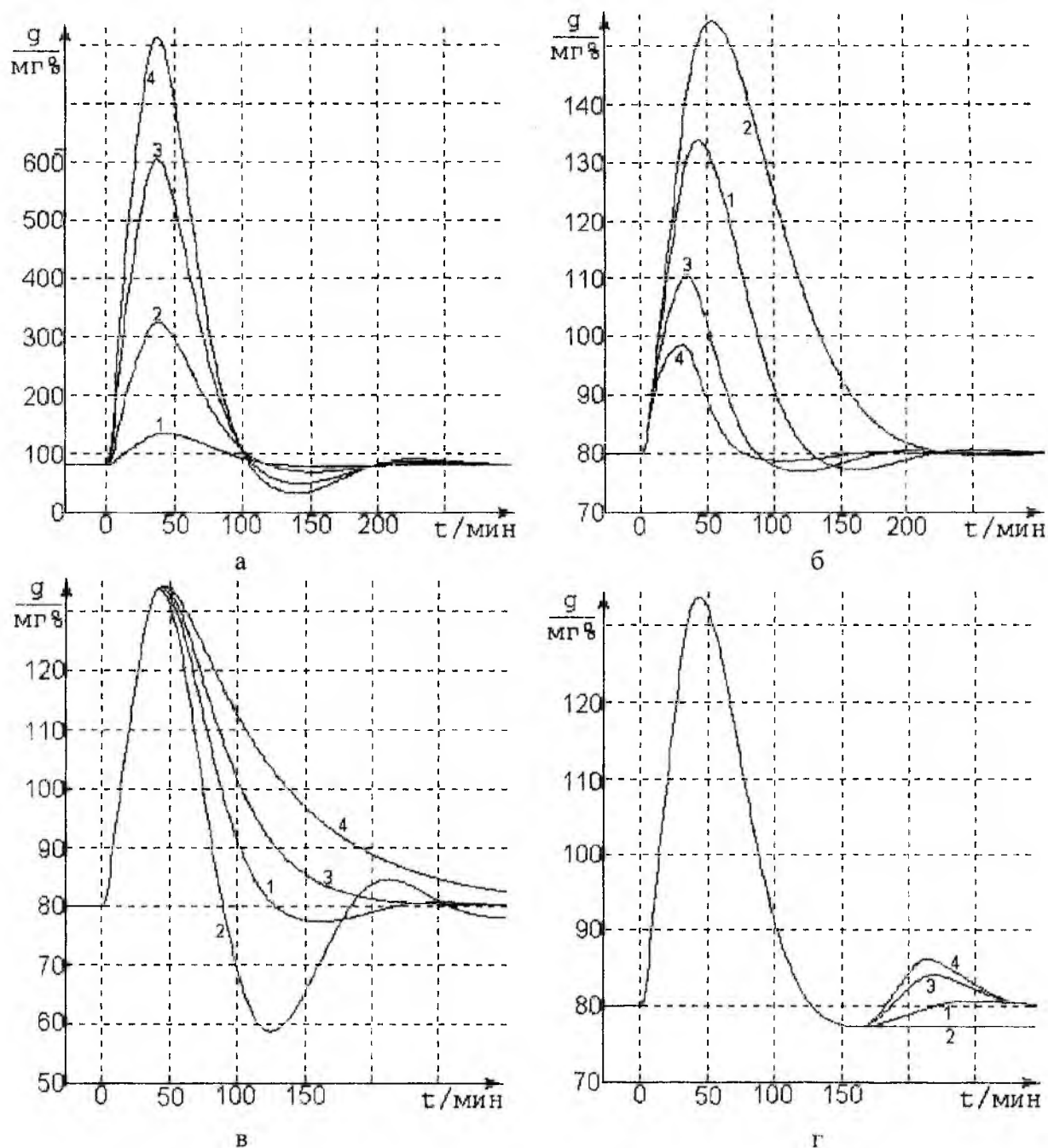


Рис. 3. Семейства гликемических кривых ПТТГ при изменении одного из параметров модели и нормальном значении всех остальных параметров:

а) цифра 1 соответствует значению параметра α 0,94 (норма), 2 - 0,70, 3 - 0,30, 4 - 0;

б) цифра 1 соответствует значению параметра γ 0,020 мин⁻¹ (норма), 2 - 0 мин⁻¹,
3 - 0,050 мин⁻¹, 4 - 0,100 мин⁻¹;

в) цифра 1 соответствует значению параметра β^- 0,010 мин⁻¹ (норма), 2 - 0,025 мин⁻¹,
3 - 0,006 мин⁻¹, 4 - 0 мин⁻¹;

г) цифра 1 соответствует значению параметра β^+ 0,022 мин⁻¹ (норма), 2 - 0 мин⁻¹,
3 - 0,070 мин⁻¹, 4 - 0,100 мин⁻¹

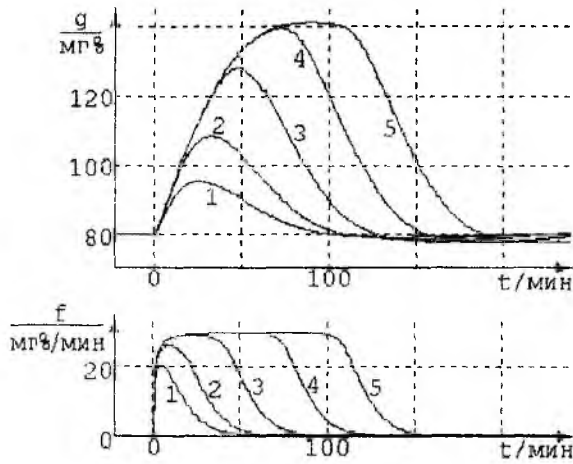


Рис. 4

зует интенсивность контррегуляторных процессов. При диагностике СД и НТГ, по-видимому, его можно считать константой: $\beta^+ = 0,022 \text{ мин}^{-1}$.

Гипергликемические нарушения системы регуляции уровня гликемии практически полностью определяются значениями четырех параметров: g_b , α , γ и β^- . Определение параметров модели, соответствующих граничным гликемическим кривым, отделяющим НТГ от нормы и СД (рис. 1), позволило предложить следующую новую систему диагностики состояния механизма регуляции углеводного обмена на основе ПТТГ взамен действующей системы (Табл.). Учитывая очень малые значения, принимаемые параметрами β^- и γ , они представлены в %, т.е., с умножением на 100.

Таблица

Параметры	Системы					
	Действующая			Предлагаемая новая		
	g_b	g (2 часа)	g_b	α	β^- в %	γ в %
НОРМА	60-100	<140	60-100	>0,92	>0,90	>0,60
НТГ	100-120	140-200	100-120	0,85-0,92	0,30-0,90	0,10-0,60
СД	>120	>200	>120	<0,85	<0,30	<0,10

6 Выводы и перспективы дальнейших разработок. Разработанная новая система диагностики СД и НТГ по значениям параметров математической модели динамики гликемии, индивидуализированной для обследуемого пациента по гликемическим данным, проведенного у него ПТТГ (четырепараметрическая), должна быть значительно более гибкой и более информативной, чем старая двухпараметрическая система. Физиологическая обоснованность построения модели и неформальный, физиологический смысл ее диагностических параметров дают основания надеяться, что диагностика, проводимая по ним, будет достаточно эффективной. Преимущества предлагаемой системы диагностики СД перед действующей системой должны проявиться, прежде всего, в дифференциальной диагностике гетерогенного класса состояний с НТГ. Предполагается, что можно будет разграничивать пациентов с НТГ: тех, у которых со временем (порядка 10 лет) состояние не изменится, тех, у кого оно перейдет в СД 2-го типа, и тех, у которых оно может спонтанно нормализоваться. Реальная практическая проверка эффективности новой системы ранней диагностики СД может

быть установлена лишь в многолетних клинических наблюдениях за развитием этого заболевания и его осложнений у обследуемых пациентов.

Диагностическая ограниченность предлагаемой дифференциальной диагностики НТГ обусловлена интегральным характером ее диагностических параметров по конечному результату инсулинзависимой утилизации глюкозы. Для более глубокого анализа с дифференцированием нарушений в секреции инсулина поджелудочной железой и резистентности тканей к инсулину в дальнейшем возможно усложнение модели с привлечением клинических данных инсулинемии.

Список литературы: 1. *Sacks D.B., Bruns D.E., Goldstein D.E., Maclaren N.K., McDonald J.M., Parrott M. Guidelines and Recommendations for Laboratory Analysis in the Diagnosis and Management of Diabetes Mellitus // Clinical Chemistry. 2002. V. 48, № 3, P. 436-472.* 2. *Definition, Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus and its Complications: Report of a WHO Consultation. Part 1: Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Geneva: WHO. Department of Noncommunicable Disease Surveillance, 1999. 59 p.* 3. *Bolie V.W. Coefficients of normal blood glucose regulation // J. Appl. Physiol. 1961. V.16. P.783-788.* 4. *Итоги науки и техники: Математическая биология и медицина. т. 3. Биомедицинские математические модели и их идентификация. / Под ред. В.И. Толокнова. М.: ВИНТИ, 1989. 218 с.* 5. *Conard V., Franckson J.R.M. et al. Etude critique du triangle d'hyperglycémie intraveineux chez l'homme normal et détermination d'un "Coefficient d'assimilation glucidique" // Arch. Int. Pharmacodyn. 1953. V. 93. P. 277-286.* 6. *Большаков В. Теория глюкозо-инсулиновой обратной связи. // Электроника в медицине. Рига, 1962. С. 175-184.* 7. *Bergman R.N., Ider Y.Z. et al. Quantitative estimation of insulin sensitivity // Am. J. Physiol. 1979. V.236. P. E667-E677.* 8. *Древалев А.В. Оценка внутривенного теста толерантности к глюкозе с помощью простой математической модели // Лабораторное дело. 1985. № 5. С. 276-280.* 9. *De Gaetano A., Arino O. Mathematical modelling of the intravenous glucose tolerance test // J. Math. Biol. 2000. V. 40, P. 136-168.* 10. *Фролькис А.В. Функциональная диагностика заболеваний кишечника. М.: Медицина, 1973. 256 с.* 11. *Матвеев Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Высш. школа, 1967. 564 с.* 12. *Марри Д. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии: Лекции о моделях. М.: Мир, 1983. 398 с.* 13. *DeFronzo R., Ferrannini E., Hendler R. et al. Influence of hyperinsulinemia, hyperglycemia, and the route of dluucose administration on splanchnic glucose exchange // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1978. V. 75, №10, P. 5173-5177.* 14. *Ланга С.И. Математическая модель перорального теста толерантности к глюкозе с физиологической функцией абсорбции глюкозы в кишечнике и ее возможные клинические приложения // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 58. С.52-57.* 15. *Физиология: Основы и функциональные системы: Курс лекций. / Под ред. К.В. Судакова. М.: Медицина, 2000. 784 с.* 16. *Клиническая оценка лабораторных тестов / Под ред. Н.У. Тица. М.: Медицина, 1986. 356 с.*

Поступила в редколлегию 27.06.2003

УДК 519.7

В.М. АБУСАБХА, Н.П. МУСТЕЦОВ

**МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ
ПО ТРАХЕОБРОНХИАЛЬНОМУ ДЕРЕВУ ЛЕГКИХ**

Актуальность. Диагностика легочных заболеваний находится в ряду главных проблем медицины. До настоящего времени работа легких исследуется, в основном, качественными методами. Одним из новых перспективных методов получения количественных данных является пульмофонография (ПФГ). Сущность метода [1] заключается в исследовании закономерностей распространения звука по воздушному тракту легких и определения количественных зависимостей между параметрами регистрируемого сигнала на выходе из системы легочных воздухопроводов и параметрами самой системы.

Целью работы является получение аналитических зависимостей между регистрируемыми акустическими сигналами и параметрами легких.

Для решения поставленной задачи и практического внедрения метода необходимо иметь модель позволяющую объяснить механизм формирования ПФГ и расшифровать экспериментально регистрируемые акустические эффекты.

Следует заметить, что для других акустических методов исследования легких и сердца (аускультация, фонокардиография), используемых в практической медицине, отсутствуют математические модели, и интерпретация результатов осуществляется, в основном, качественно.

Легкие человека имеют систему воздухопроводов, построенную по закону «неправильной» дихотомии: каждый воздухопровод разветвляется на два, причем, соотношение их размеров является случайной величиной. Строение всего трахеобронхиального дерева до конечных бронхиол 16-го порядка полностью подчинено этому закону. Концевые бронхиолы 16-го порядка также разветвляются на две респираторные бронхиолы. Однако, в отличие от конечных бронхиол, респираторные бронхиолы (с 17-го до 23-го порядка включительно) содержат в своих стенках альвеолы, количество которых увеличивается с увеличением порядка бронхиолы [2].

С точки зрения акустики альвеола представляет собой некоторую замкнутую полость (резонатор), выход из которой присоединен к респираторной бронхиоле. Респираторные бронхиолы 17-22-го порядков разветвляются по той же дихотомической схеме, бронхиола 23-го порядка (именуемая альвеолярным ходом) не разветвляется, а оканчивается альвеолой. Следовательно, можно считать, что концевые альвеолы, вернее незначительная их часть, соприкасаются через плевры с внутренней поверхностью грудной клетки. Альвеолярные мембраны альвеол, не выходящих на поверхность грудной клетки, являются перегородками между соседними альвеолами, образуя сотовую структуру.

Постановка задачи. Акустические волны приходят к этим перегородкам с обеих сторон практически в одной фазе, так как к соседним альвеолам волна приходит по соседним участкам воздуховода и разница в длине пути волн не существенна для колебаний низкой частоты, используемых при ПФГ. Таким образом, практически все альвеолы, кроме концевых, представляют собой микрорезонаторы, объемы которых изменяются в процессе дыхания. Концевые альвеолы также являются резонаторами, однако на некоторой части их площади сосредоточен приведенный импеданс грудной клетки.

В процессе дыхания изменяются геометрические размеры элементов паренхимы, в то время как геометрические размеры трахеобронхиального дерева можно считать практически неизменными [2]. Поэтому можно считать, что формирование ПФГ связано лишь с изменением объема воздуха в участке паренхимы, и будет происходить одинаково, в различных системах легочных воздухопроводов, и не зависит от геометрии трахеобронхиального дерева.

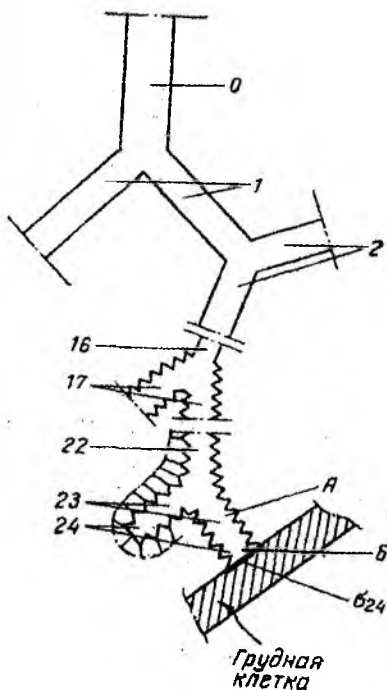


Рис. 1

Такая идеальная модель является частным случаем общего закона строения системы легочных воздухопроводов и позволит значительно упростить аналитическое описание принципа формирования ПФГ без искажения общей картины. Система воздухопроводов идеальной модели представлена на рис. 1.

Каждому акустическому параметру присваивается индекс соответствующего воздухопровода. Трахея соответствует индекс ее порядка – 0. Трахея разветвляется на два главных бронха 1-го порядка (индекс 1), каждый из которых разветвляется на долевые bronхи (индекс 2) и т.д. К бронхиолам индексов с 17 по 22 параллельно присоединены неконцевые альвеолы-резонаторы. А, к бронхиолам 23-го порядка присоединены резонаторы А и резонаторы Б, представляющие собой концевые альвеолы. В свою очередь концевые альвеолы на некоторой площади σ_{24} нагружены приведенным импедансом грудной клетки $Z = R + jY$.

Решение задачи. Воздухопроводная часть модели состоит из жестких трубок, и все потери звука учитываются действительной составляющей приведенного импеданса грудной клетки R . Трахея представляет собой воздухопровод, на конце которого сосредоточен механический импеданс дыхательного аппарата Z_0 , на конце бронха 1 сосредоточен импеданс Z_1 , механический импеданс правого легкого с прилегающей частью грудной клетки и т. д.

В соответствии с известными положениями теории звукопроводов [3] звуковое давление в конце трахеи и в начале главных бронхов равно:

$$P_0 = \frac{P_0^*}{\frac{S_0 \rho c \cdot sh \gamma_0 l_0}{Z_0} + ch \gamma_0 l_0}, \quad (1)$$

где: P_0^* - звуковое давление в начале трахеи, является в соответствии с принципом ПФГ величиной постоянной и контролируемой; S - площадь звукопровода, $см^2$; ρ - плотность воздуха, $г/см^3$; c - скорость звука в воздухе, $см/с$; γ - постоянная распространения, $л -$ длина звукопровода, ($см$); Z - механический импеданс, сосредоточенный на конце звукопровода, ($г/с$).

Звуковое давление в конце главного бронха и в начале долевых бронхов равно:

$$P_1 = \frac{P_0}{\frac{S_1 \rho c \cdot sh \gamma_{110}}{Z_1} + ch \gamma_1 l_1} = P_0^* \cdot \frac{1}{\frac{S_0 \rho c \cdot sh \gamma_0 l_0}{Z_0} + ch \gamma_0 l_0} \cdot \frac{1}{\frac{S_1 \rho c \cdot sh \gamma_1 l_1}{Z_1} + ch \gamma_1 l_1}. \quad (2)$$

Аналогичные выражения с соответствующей индексацией имеют величины звукового давления в конце долевых, сегментарных и других бронхов.

Формула (2) дает основание для вывода общего выражения звукового давления в конце любого бронха, не забывая при этом, что давление в начале бронха n равно давлению в конце бронха $n - 1$.

Для некоторого конечного бронха, индекс которого m , имеем:

$$P_m = \frac{P_0^*}{\left[\left(\prod_{i=0}^{i=m} \right) \left(\frac{S_i \rho c \cdot \operatorname{sh} \gamma_i l_i}{Z_i} + \operatorname{ch} \gamma_i l_i \right) \right]} \quad (3)$$

Знаменатель представляет собой произведение величин $(S \rho c Z^{-1} \operatorname{sh} \gamma l + \operatorname{ch} \gamma l)^{-1}$, составленных для всех бронхов, входящих в воздушный тракт, ведущий к рассматриваемому конечному бронху. Формула (3) указывает на важное свойство системы легочных звукопроводов - ее линейность, так как при изменении звукового давления на входе системы пропорционально изменяется звуковое давление во всех элементах системы. Первый вывод, который можно сделать, состоит в том, что, если в одном из бронхов вследствие причин местного характера произошло изменение звукового давления, пропорционально изменяется звуковое давление во всех звукопроводах, вентилируемых этим бронхом.

Анализ формулы (3) возможен в случае представления в явном виде геометрических параметров системы звукопроводов и определения значений постоянных распространения γ_i и механических импедансов Z_j .

Постоянная распространения γ_i содержит действительную часть β , представляющую собой коэффициент затухания, и мнимую часть $j\alpha$ (α - фазовая постоянная):

$$\gamma = \beta + j\alpha .$$

Коэффициенты β и α в общем случае зависят от частоты звуковых колебаний и геометрических параметров звукопроводов. Интервал частот акустических колебаний, которые могут быть использованы для ПФГ исследований, лежит в пределах 50 - 200 Гц. Применение более низких частот сопряжено с техническими трудностями, а колебания более высоких частот не проходят к поверхности грудной клетки, на что указывают амплитудно-частотные характеристики, приведенные в [4]. Это явление сложно поддается теоретическому расчету и объяснению, однако сам экспериментально установленный факт может быть использован для ограничения интервала рабочих частот.

Для интервала частот 50 - 200 Гц можно определить величину составляющих постоянной распространения α и β по формулам [5]

$$\alpha = k \cdot \left| 2^{-0.5} \cdot (1 + \sqrt{1 + 4\varphi^2})^{0.5} \right| ,$$

$$\beta = k\varphi \cdot \left| 2^{0.5} \cdot (1 + \sqrt{1 + 4\varphi^2})^{-0.5} \right| ,$$

где $k = \omega/c$ - волновое число;

ω - круговая частота ($1/c$);

$\varphi = r_1(2\omega\rho)^{-1}$ - промежуточная функция;

r_1 - коэффициент трения, рассчитанный на единицу площади и единицу длины трубы.

Коэффициент трения r_1 рассчитывается по уравнению Стокса - Гельмгольца (для диаметров больше 0,5 см) или согласно закону Пуазейля для диаметра менее 0,5 см. Для средне-статистических радиусов звукопроводов трахеобронхиального дерева и паренхимы легких [6] расчеты показывают, что для бронхов низших порядков, до 4-го включительно:

$$\varphi = r^{-1} \mu^{0.5} (2\rho\omega)^{-1} .$$

Для остальных бронхов, бронхиол, альвеолярных ходов и альвеол:

$$\varphi = 4\mu \cdot (r^2\omega\rho)^{-1} .$$

Вычисленные по приведенным формулам и на основании данных [1] для среднестатистических легких значения $\alpha_i l_i$ находятся в пределах $(4000 - 30) 10^{-4}$, а значения $\beta_i l_i$ в пределах $(45 - 6) 10^{-4}$. Эти значения соответствуют границам интервала рабочих частот 80 - 200 Гц, которые могут быть использованы при ПФГ исследованиях. Учитывая малые значения

$\alpha_i l_i$ и $\beta_i l_i$, в выражении (3) справедливы упрощения:

$$\operatorname{sh} \gamma_i l_i \approx \beta_i l_i + j \alpha_i l_i; \quad \operatorname{ch} \gamma_i l_i \approx 1.$$

Оказалось, что значения $\beta_i l_i$ для бронхов до 7-го порядка включительно (при $f = 80$ Гц) на порядок меньше $\alpha_i l_i$. Для остальных бронхов $\beta_i l_i$ меньше $\alpha_i l_i$ в среднем в 2 раза. Поэтому при строгом расчете величина затухания звука в бронхах высших порядков должна учитываться. Однако на основании ранее принятых допущений, с целью упрощения дальнейшего расчета, затуханием звука в бронхиальном дереве модели пренебрегаем.

В соответствии с принятым ранее допущением, размеры элементов бронхиального дерева модели в процессе дыхания не изменяются, поэтому величина затухания звука в них не влияет на формирование ПФГ.

Учитывая, что значения $\alpha_i l_i$ практически не отличаются от $k_i l_i$, с учетом малости $k_i l_i$ величина $\operatorname{sh} \gamma_i l_i$ приближенно равна $j k_i l_i$. Тогда формулу для величины звукового давления в конце некоторого бронха m -го порядка с учетом проведенного преобразования можно записать в виде:

$$P_m = P_0' \cdot \frac{1}{\left[\left(\prod_{i=0}^{i=m} \right)_{\Gamma} \left(\frac{j S_i \rho c k_i l_i}{Z_i} + 1 \right) \right]} \quad (4)$$

В соответствии с общей формулой (4) можно определить звуковое давление в конце бронхиолы 16-го порядка. Бронхиолы 17 - 22-го порядков представляют собой микрорезонаторы, к которым последовательно и параллельно присоединены другие микрорезонаторы – альвеолы. Линейные размеры всех резонаторов приблизительно одинаковы и настолько малы по сравнению с длиной звуковых волн, что практически без погрешности можно считать звуковое давление во всех резонаторах участка паренхимы одинаковым и равным давлению на входе в участок.

Тогда, общее выражение звукового давления в участке паренхимы принимает следующий вид:

$$P_{16} = P_0' \cdot \left[\left(\prod_{i=0}^{i=16} \right)_{\Gamma} \left(j S_i \rho c k_i l_i \cdot Z_i^{-1} + 1 \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

Для практического использования последнего выражения необходимо оценить значения механических импедансов Z_i , сосредоточенных на концах бронхов, входящих в рассматриваемый воздушный тракт. В основу расчета импедансов Z_i может быть положен принцип, представленный на рис. 2. Механический импеданс, сосредоточенный на конце бронхиолы 16-го порядка, определяют как совокупность параллельно присоединенных импедансов альвеол - резонаторов и приведенных импедансов грудной клетки, сосредоточенных на площади концевых альвеол. Определив импеданс в точке приложения силы (в начале бронхиолы 16-го порядка), необходимо сложить импедансы параллельно присоединенных к концу бронхиолы 15-го порядка, и тем самым определить механический импеданс, сосредоточенный на конце этой бронхиолы, а затем найти импеданс в точке приложения силы в начале бронхиолы и т. д. Нам необходимо получить общее выражение для импеданса справедливое для любого бронха, входящего в рассматриваемый воздушный тракт. После подстановки этого выражения в формулу (5) она в самом общем виде будет описывать поле звуковых давлений в трахеобронхиальном дереве с альвеолами.

Альвеола 24-го порядка, не выходящая на внутреннюю поверхность грудной клетки (неконцевая альвеола), является, как указывалось, микрорезонатором, поэтому ее механический импеданс, отнесенный к сечению горловины, равен:

$$Z_{24,i} = \rho c S_{24}^2 (iV_a)^{-1},$$

где V_a - объем альвеолы.

Альвеола 24 - порядка, выходящая на внутреннюю поверхность грудной клетки (концевая альвеола), содержит на некоторой своей площади σ_{24} импеданс $Z = R + iY$, представляющий собой приведенный импеданс грудной клетки. В соответствии с теорией распространения звука[3] и учитывая, что импедансы концевых и неконцевых альвеол вместе с импедансами бронхиол 17 - 23-го порядка параллельно присоединены к концу бронхиолы 16-го порядка, можно получить выражение для импеданса, сосредоточенного на конце бронхиолы 16-го порядка:

$$Z_{16} = R_{16} - j \cdot S_{16} \rho c k l_{16} \cdot T_{16} \cdot N^{-1},$$

где: $R_{16} = S_{16}^2 \rho c \sigma R_2 \cdot [(\sigma R_2) + (kV_{16} - \sigma Y_2)^2]^{-1}$; $T_{16} = \frac{S_{16}}{l_{16}}$; - проводимость бронхиолы 16-го порядка;

σ - площадь соприкосновения участка паренхимы 16-го порядка с грудной клеткой; V_{16} - объем участка паренхимы 16-го порядка; $N = (\sigma R_2)^2 \cdot (kV_{16} - \sigma Y_2)^{-1} \cdot k + k(kV_{16} - \sigma Y_2)$;

$$R_2 = \frac{R_1}{R_1^2 + Y_1^2}; Y_2 = \frac{Y_1}{R_1^2 + Y_1^2}; R_1 = \frac{R}{\sigma_{24} \rho c}; Y_1 = \frac{Y}{\sigma_{24} \rho c}.$$

Зная выражение Z_{16} , в соответствии с приведенной схемой можно получить значение Z'_{16} - импеданса в начале бронхиолы 16-го порядка. Формула выражения импеданса в начале трубы через импеданс в ее конце и параметры трубы известна[3]:

$$Z' = S \rho c \cdot \frac{S \rho c \cdot sh \gamma l + Z \cdot ch \gamma l}{Z \cdot sh \gamma l + S \rho c \cdot ch \gamma l}.$$

Для бронхиолы 16-го порядка соответственно:

$$Z'_{16} = S_{16} \rho c \cdot \frac{j S_{16} \rho c k l_{16} + R_{16} - j S_{16} \rho c k l_{16} T_{16} N^{-1}}{j R_{16} k l_{16} + S_{16} \rho c k^2 l_{16}^2 T_{16} N^{-1} + S_{16} \rho c}. \quad (6)$$

Последнее выражение можно упростить, исходя из двух предположений. Будем считать, что действительная часть импеданса мала по сравнению с мнимой. Значение $k l_{16}$, равное $25 \cdot 10^{-4}$ при рабочей частоте 80 Гц, весьма мало, поэтому пренебрегаем в знаменателе (6) членом $j R_{16} k l_{16}$. Далее пренебрегаем в знаменателе этого же выражения вторым членом, полагая, что

$$S_{16} \rho c k^2 l_{16}^2 N^{-1} \leq S_{16} \rho c.$$

Второе предположение справедливо при выполнении условия:

$$k S_{16} l_{16} (2\sigma)^{-1} \leq R_2.$$

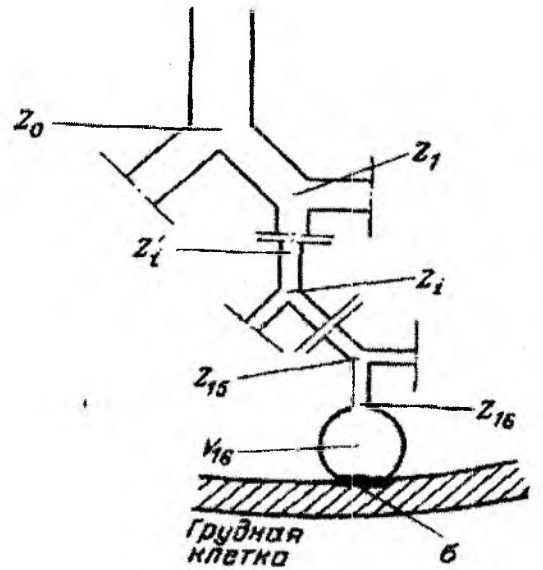


Рис. 2

В [7] приведены результаты экспериментального определения значений R_2 и Y_2 , которые позволили проверить выполнение обоих условий. С учетом приведенных допущений получаем:

$$Z'_{16} = R_{16} + jS_{16}\rho ckl_{16}(1 - T_{16} \cdot N^{-1}).$$

Поскольку принятые допущения справедливы для бронхов любого порядка, запишем общее выражение импеданса, сосредоточенного в начале бронха i -го порядка:

$$Z'_i = jS_i\rho ckl_i + Z'_i. \quad (7)$$

Импеданс в конце бронха 16-го порядка определяется как результат сложения двух одинаковых, из-за симметрии идеальной модели, импедансов Z'_{16} , параллельно присоединенных к концу бронха 15-го порядка:

$$Z_{15} = Z'_{16} \cdot \frac{S_{15}^2}{2S_{16}^2}.$$

Обобщенная формула для определения импеданса в конце бронха i -го порядка соответственно имеет вид:

$$Z_i = Z'_{i+1} \cdot \frac{S_{i+1}^2}{S_{i+1}^2}. \quad (8)$$

Воспользовавшись формулами (7,8), можно составить последовательно выражения импедансов Z_{15} , Z_{14} , Z_{14} и т. д.

В результате определим общее выражение импеданса, сосредоточенного в конце некоторого бронха i -го порядка ($i = 0 \div 15$):

$$Z_i = S_i\rho ckl_i(b_i + ja_i), \quad (9)$$

где $b_i = \delta_i v (V^2 + v^2)^{-1}$; $a_i = d_i - \delta_i \cdot V \cdot (V^2 + v^2)^{-1}$; $\delta_i = \frac{T_i}{k^2 \cdot 2^{16-i}}$; $v = \frac{\sigma R_2}{k}$; $V = V_{16} - \frac{\sigma Y_2}{k}$;

$$d_i = \sum_{n=1}^{n=16-i} \frac{T_n}{2^n \times T_i}.$$

Подставив общее выражение импеданса, сосредоточенного в конце бронха любого порядка, в ранее полученную формулу (5), определим выражение звукового давления в участке паренхимы:

$$P_{16} = P_0^1 \cdot \left[\left(\prod_{i=0}^{i=16} \right) \left(\frac{j}{b_i + ja_i} + 1 \right) \right]^1.$$

Модуль этого выражения величина, измеряемая акселерометром, установленным на участке грудной клетки:

$$P_k = P_0^1 \cdot \left[\left(\prod_{i=0}^{i=16} \right) \left(\sqrt{\left(1 + \frac{a_i}{a_i^2 + b_i^2} \right)^{-1} + \left(\frac{b_i}{a_i^2 + b_i^2} \right)^2} \right) \right]^1. \quad (10)$$

Таким образом, звуковое давление в участке паренхимы определяется произведением выражений в квадратных скобках, записанных для каждого бронха, входящего в ветвь воздушного тракта, ведущего к исследуемому участку паренхимы.

Уравнение (10) можно упростить за счет подкоренного выражения:

$$\left(1 + \frac{a_i}{a_i^2 + b_i^2} \right)^2 + \left(\frac{b_i}{a_i^2 + b_i^2} \right)^2 = \frac{(a_i + 1)^2 + b_i^2}{a_i^2 + b_i^2}. \quad (11)$$

Составляющие импедансов для i -го и $(i+1)$ -го порядков связаны простыми соотношениями:

$$d_i = \frac{T_i}{2T_{i+1}} \cdot (1 + d_{i+1});$$

$$\delta_i = \frac{T_i}{2T_{i+1}} \cdot \delta_{i+1}.$$

Следовательно:

$$a_i = \frac{T_i}{2T_{i+1}} \cdot (1 + a_{i+1});$$

$$b_i = \frac{T_i}{2T_{i+1}} \cdot b_{i+1}.$$

Тогда выражение (11) принимает следующий вид:

$$\frac{(a_i + 1)^2 + b_i^2}{a_i^2 + b_i^2} = \frac{4T_{i+1}^2}{T_i^2} \cdot \frac{(a_{i+1} + 1)^2 + b_{i+1}^2}{(a_{i+1} + 1)^2 + b_{i+1}^2}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (10), после сокращения получаем более простое выражение модуля звукового давления в участке паренхимы:

$$P_k = P_0 \cdot \frac{T_0}{2^{16} \cdot T_{16}} \sqrt{\frac{(a_{16} + 1)^2 + b_{16}^2}{(a_0 + 1)^2 + b_0^2}}.$$

После подстановки значений a' и b' и простых преобразований получаем:

$$P_k = P_0 \cdot \frac{T_0}{2^{16} \cdot T_{16}} \cdot \frac{1 + d_{16}}{1 + d_0} \sqrt{\frac{[V - \delta_{16}(1 + d_{16})^{-1}]^2 + v^2}{[V - \delta_0(1 + d_0)^{-1}]^2 + v^2}}. \quad (13)$$

Для дальнейшего упрощения формулы оценим порядок значений величин, входящих в нее. В соответствии с (9):

$$d_{16} = 0 \dots d_0 = \frac{T_0}{2T_1} + \frac{T_0}{4T_2} + \dots + \frac{T_0}{2^{16}T_{16}}.$$

Геометрический коэффициент участка воздушного тракта i -го порядка E_i равен:

$$E_i = \sum_i^{16} \frac{1}{2^i T_i} = \frac{1 + d_i}{T_i}; \quad (14)$$

$$E_0 = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{2T_1} + \dots + \frac{1}{2^{16}T_{16}}$$

Как следует из данных [1] для «среднестатистических» легких, $E_0 = 9,75$ 1/см. При рабочей частоте ПФГ, равной 80 Гц,

$$\sigma_{16} = 88 \text{ мл};$$

$$\frac{\sigma_0}{1 + d_0} \approx 0.005 \text{ мл}.$$

Величину «акустического» объема V можно оценить косвенно, по экспериментальным данным. Согласно (9)

$$V = V_{16} - \frac{\sigma Y_2}{k}.$$

Величина V_{16} , представляющая собой геометрический объем участка паренхимы, вентилируемого бронхиолой 16-го порядка, может быть легко определена из статистических данных [6]. Кроме того, достаточно точно может быть определено изменение V_{16} в процессе дыхания (среднем при спокойном дыхании $\pm 5 - 10\%$ от V_{16} [6]). Из тех же данных может быть получено значение σ , равное $0,02 \text{ см}^2$.

Для рабочей частоты 80 Гц

$$k = \frac{w}{c} = \frac{2\pi f}{c} \approx 0.015 \text{ см}^{-1}.$$

Неизвестными являются значения и знак импеданса Y_2 . В выражении (9) знак «-» относится к положительному значению Y_2 , т. е. к случаю, когда приведенный импеданс грудной клетки имеет характер инерционности. В этом случае величина $\sigma Y_2 k^{-1}$, по размерности формально соответствующая некоторому объему (назовем его «импедансным» объемом), уменьшает общий акустический объем V , и возможен случай, когда V окажется равным нулю и даже может стать отрицательным. Наконец, можно представить себе случай, когда под воздействием устройств, воспринимающих акустические сигналы с грудной клетки, импеданс меняет знак, превращаясь из инерционности в упругость.

Для получения формул, пригодных для практических расчетов, сделаем определенные предположения относительно знака и значений приведенного импеданса грудной клетки Z и сверим полученные результаты с экспериментальными данными, поскольку определение Z затруднено. Как следует из экспериментальных данных [7] по определению знака и порядка значений Z , отмечено непропорционально большое изменение звукового давления при изменении воздухонаполненности паренхимы. Соотношение между максимальной и минимальной амплитудами ПФГ в среднем составляет 1,5 [1]. В то же время соотношение между максимальным и минимальным объемом паренхимы при дыхании составляет в среднем 1,1 для «среднестатистических» легких объемом дыхания 500 см^3 при общей емкости легких 4500 см^3 .

Все экспериментальные наблюдения свидетельствуют о зависимости параметров, фазы и вида ПФГ от воздухонаполненности исследуемого участка и ее изменений в результате различных причин: углубление дыхания, изменение положения, позы. Зная это, необходимо выбрать величину и знак реактивной составляющей приведенного импеданса грудной клетки таким образом, чтобы общее уравнение описывало сам факт формирования ПФГ, наличие различных видов ПФГ и зависимость параметров ПФГ от удельного объема участка паренхимы. Предположим, что импеданс Y_2 инерционность. В этом случае значение положительного «импедансного» объема может быть близко значению геометрического объема (при этом V близко к нулю) или существенно отличаться от него.

Если $\sigma Y_2 k^{-1} \gg V_{16}$, то $V \approx \sigma Y_2 k^{-1}$; в этом случае в правой части формулы (13) не оказывается члена, величина которого менялась бы сколько-нибудь значительно в процессе дыхания. Это в свою очередь означает, что звуковой сигнал на поверхности грудной клетки в процессе дыхания не меняется, что полностью противоречит экспериментальным данным. Как указывалось [7], звуковой сигнал на поверхности грудной клетки может увеличиваться в несколько раз при незначительных изменениях геометрического объема участка легкого,

Если $\sigma Y_2 k^{-1} \leq V_{16}$, то формула (13) может быть упрощена, поскольку V оказывается много меньше σ_{16} . Для основной рабочей частоты 80 Гц

$$V \leq V_{16}; \quad V_{16} \approx 0,075 \text{ мл}; \quad \sigma_{16} \approx 88 \text{ мл}.$$

В то же время $v \ll \sigma Y_2 k^{-1}$, так как $Y_2 \gg R_2$, поэтому $\sigma_1 \gg v$. Следует учесть также, что

$V_{16} \gg \sigma_0$. Все вместе взятое позволяет пренебречь величинами второго порядка малости и преобразовать основную формулу, приведя ее к окончательному простейшему виду:

$$P_k = P_0 \cdot (2^{16} \cdot k^2 \cdot E_0)^{-1} \cdot [(V_{16} - b)^2 + v^2]^{-0.5}, \quad (15)$$

где $b = \sigma Y_2 k^{-1}$; $v = \sigma R^2 k^{-1}$.

В правой части (15) имеется единственный член V_{16} , меняющийся в процессе дыхания; площадь соприкосновения участка паренхимы 16-го порядка с внутренней поверхностью грудной клетки σ в процессе дыхания практически не изменяется.

Выводы. В результате решения задачи показано, что регистрируемые при ПФГ- исследованиях сигналы однозначно связаны с воздухонаполненностью легких, то есть метод позволяет определять количественные показатели дыхания. Для практической реализации метода ПФГ необходимо проанализировать предельные значения величин, входящих в уравнение (15), оценить возможные варианты их отклонений и сравнить с экспериментальными данными.

Список литературы: 1. Л. И. Немеровский и др. Устройство для акустического исследования легких. Авт. свид. №332820. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. 1973, №41. 2. Э.Р. Вейбель Морфология легких человека. М.: Медицина, 1970. 248 с. 3. С.Н. Ржевкин Курс лекций по теории звука. М.: Изд – во МГУ, 1960. 189 с. 4. Flemming J. S., Goddard B.A., Regional ventilation assessment by transmission scintigraphy. A preliminary report. Acta radion. Ther., Phys., Biol., 1974, v. 12 № 5. p. 416 – 424. 5. Л.М.Бреховских, О.А. Годин. Акустика слоистых сред. М.: Наука, 1989. 412с. 6. Физиология дыхания / Под ред. Л.Л.Шик. Л.: Наука, 1973. 352с. 7. Л.И. Немеровский. Пульмофонография. М.: Медицина, 1981. 160с.

Поступила в редколлегию 18.09.2003

УДК 004.934.1

Т.В. ЕРМОЛЕНКО, В.В. ШЕВЧУК

НОВАЯ СИСТЕМА ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВЫХ ЕДИНИЦ, ПОЛУЧЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Введение

Построение распознавателей речи является актуальной задачей современной техники. В частности, будучи встроенными в мобильные устройства, такие распознаватели способны существенно облегчить взаимодействие пользователя и системы.

Перед разработчиками встает ряд проблем, среди которых необходимо отметить значительную нестабильность речевого сигнала. В настоящее время для решения задачи распознавания речи используются методы динамического программирования [8], скрытые модели Маркова, нейросети.

Метод динамического программирования в случае применения для распознавания отдельно произносимых слов предполагает сравнение распознаваемого образа со всеми элементами словаря эталонов. Это предполагает создание в процессе обучения эталона для каждого слова и тем самым делает этот процесс длинным и трудоемким.

Поэтому гораздо рациональнее оперировать ограниченным набором элементов речи, описывающих весь лексический словарь, в частности, на уровне фонем. Под термином “фонема” в данном контексте понимается стационарная часть фонемы (московская фонетическая школа). В рассмотрение принимаются только те фонемы, чья стационарная часть имеет длительность не менее 36 мс [4]. Большинство методов акустико-фонетического анализа использует спектральное либо амплитудно-формантное представления речевого сигнала, получаемые с помощью быстрого преобразования Фурье, коэффициенты линейного предсказания, кепстральные коэффициенты и т. д. Эти параметры обладают как рядом преимуществ (соответствие восприятию звука человеком, возможность применения евклидовой метрики или ее вероятностного аналога для сравнения окон звука), так и недостатков (зависимость спектральных параметров от диктора, от амплитуды входного сигнала и неустойчивость к вариациям окружающей обстановки). Выбранному представлению соответствует набор признаков, использующийся для описания динамики сигнала и последующего распознавания [10, 9]. Удачный выбор признаков является важнейшим моментом в решении задачи распознавания и в этом смысле является весьма актуальным. Он лежит в основе распознавания, используется для построения кодовой книги, обучения скрытых моделей Маркова и т. д.

Весьма эффективным для анализа речевого сигнала представляется кратномасштабный анализ и вейвлет-преобразование. Вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физической (время, координата) и в частотной областях.

1 Постановка задачи

При выборе системы признаков к ней были предъявлены следующие требования:

1. Признаки должны достаточно адекватно описывать спектрально-временную структуру речевого сигнала.
2. Изменение абсолютного уровня входного сигнала и изменение уровня записи не должно заметно влиять на получаемые численные значения признаков.
3. Система признаков должна представлять собой вектор числовых значений фиксированной длины.

2 Вейвлет-разложение как способ представления сигнала

Рассмотрим оцифрованный речевой сигнал как результат дискретизации непрерывной функции времени $f(t)$. Очевидно $f \in L^2(R)$.

Если конструировать базис функционального пространства $L^2(R)$ с помощью непрерывных масштабных преобразований и переносов вейвлета $\psi(t)$ с произвольными значениями базисных параметров – масштабного коэффициента a и параметра сдвига b :

$$\psi_{ab}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R, \quad \psi \in L^2(R)$$

то на его основе можно записать интегральное вейвлет-преобразование функции $f(t)$:

$$W(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{ab}(t) dt.$$

Результатом вейвлет-преобразования сигнала является двумерный массив коэффициентов $W(a, b)$ [2, 3, 6]. Он называется вейвлет-спектром и дает информацию об эволюции относительного вклада компонентов разного масштаба во времени. В плоскости (a, b) координаты интерпретируются следующим образом: a -временной масштаб, b -временная локализация.

Если j и k – целые числа, то с помощью дискретных масштабных преобразований $(1/2^j)$ и сдвигов $(k/2^j)$ мы можем, имея единственный базисный вейвлет $\psi(t)$, построить аналоги $\psi(2^j t - k)$ всех частот.

Многомасштабное приближение функций, суммируемых с квадратом, $L^2(R)$ представляет собой расширяющуюся последовательность V_j замкнутых вложенных линейных подпространств пространства $L^2(R)$ со следующими свойствами:

1. $\bigcap_{-\infty}^{+\infty} V_j = \{0\}$, $\bigcup_{-\infty}^{+\infty} V_j$ всюду плотно в $L^2(R)$;
2. $\forall f \in L^2(R)$ и $\forall j \in Z \quad f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1}$;
3. $\forall f \in L^2(R)$ и $\forall k \in Z \quad f(x) \in V_0 \Leftrightarrow f(x - k) \in V_0$;
4. \exists такая функция $g(x) \in V_0$, что последовательность $g(x - k), k \in Z$ является ортонормальным базисом Рисса в пространстве V_0 .

С учетом многомасштабного анализа разложение функции в вейвлет-ряд имеет вид

$$f(t) = \sum_k s_{j_n k} \varphi_{j_n k} + \sum_{j \geq j_n, k} d_{j k} \psi_{j k} \tag{1}$$

при этом j_n является уровнем детализации; $s_{j k}, d_{j k}$ - коэффициенты вейвлет-разложения;

$\varphi_{j k} = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k), j, k \in I$; φ - скейлинг-функция или масштабная функция;

$\psi_{j k} = 2^{j/2} \psi(2^j t - k), j, k \in I$; ψ - базисный или «материнский» вейвлет.

Коэффициенты разложения зачастую называют суммами (s) и разностями (d), связывая их со средними значениями и флуктуациями соответственно.

Возвращаясь к вейвлетам, отметим, что $\{\varphi_{j k}\}, k \in Z$ образуют ортонормированный базис V_j ; $\{\psi_{j k}\}, k \in Z$ образуют ортонормированный базис в W_j , где W_j - ортогональное дополнение V_j в V_{j+1} . Полный набор $\{\varphi_{j k}\}$ и $\{\psi_{j k}\}$ при всех j и k образуют ортонормированный

базис в $L^2(R)$. Их еще называют широкополосными и узкополосными фильтрами (вейвлет-фильтрами) соответственно, потому что они отфильтровывают компоненты сигнала на больших и малых масштабах [2].

3 Анализ сигнала и построение вектора признаков

Анализ сигналов с помощью вейвлетов аналогичен фильтрации сигналов с помощью фильтра нижних частот и полосовых фильтров с расширяющейся полосой, разбивающих частотный диапазон на полосы. Именно поэтому соответствующие объекты принято также называть фильтрами. Первым является фильтр нижних частот с частотой среза $2\pi 2^{j_0}$, выделяющий составляющую сигнала в подпространстве V_{j_0} , второй – полосовой фильтр с полосой $(2\pi 2^{j_0}, 2\pi 2^{j_0+1})$, выделяющий составляющую сигнала в подпространстве W_{j_0} , и т. д. Анализ ведется от более “тонкого” к более “грубому”. Это означает, что анализ, в принципе, может начинаться с временных отсчетов, которые можно считать результатом наиболее “тонкого” представления сигнала.

При расчете вейвлет-фильтров не пытаются аппроксимировать прямоугольную характеристику. Для построения вейвлет-фильтра важным является степень гладкости его характеристики около частоты $\omega = \pi$, которая зависит от числа нулей низкочастотного фильтра на частоте $\omega = \pi$, что тесно связано с гладкостью базисных функций.

Кроме того, сумма коэффициентов фильтра должна быть равна 1. Чем больше она отлична от 1, тем больше смещение функции передачи. При расчете вейвлет-фильтров это условие выполняется в точности, в то время как для обычных фильтров оно выполняется в общем случае приближенно [1].

Следует заметить, что сумма квадратов коэффициентов вейвлет-фильтра равна 0,5. В случае невыполнения этого критерия субполосы содержали бы разное количество энергии сигнала, следовательно, ошибки квантования в одной субполосе были бы более значимы, чем в другой [1].

Для спектрального выравнивания речевого сигнала его следует пропустить через низкочастотный фильтр. Цель этого преобразования – снизить влияние локальных искажений на характеристические признаки, которые в дальнейшем будут использоваться для распознавания.

Далее проводится сегментация, т. е. разбиение сигнала на однородные участки с помощью алгоритмов, описанных в [5]. Далее проводится сегментация, т. е. разбиение сигнала на однородные участки с помощью алгоритмов, описанных в [5]. Для каждого сегмента вычисляются следующие энергетические характеристики по всем масштабам:

– полная энергия, распределенная по масштабам в соответствии с глобальным спектром энергии вейвлет-преобразования

$$E_w(a) = \int W^2(a, t) dt = \int E_w(a, t) dt; \quad (2)$$

– глобальный спектр вейвлет-преобразования сигнала соответствующий спектру мощности, сглаженному на каждом масштабе с помощью спектра Фурье анализирующего вейвлета;

– мера контрастности

$$C_w(a, t) = \frac{E_w(a, t)}{E'_w(a, t)},$$

где $E_w(a, t) = W^2(a, t)$ – плотность энергии сигнала, характеризующая энергетические уровни (уровни возбуждения) исследуемого сегмента в пространстве (a –масштаб, t – время);

$$E'_w(a, t) = \int_0^a E_w(a', t) da'.$$

Мера контрастности позволяет определить даже малые изменения в сигнале, например, в случае слабых вариаций на фоне крупных структур. Введем также величину

$$C(a) = \sum_{t=t_0}^{t_1} C(a,t), \quad (3)$$

где t_0, t_1 – моменты времени, соответствующие началу и концу сегмента.

В вейвлет-спектре сегмента приравняем к нулю все коэффициенты детализации кроме коэффициентов детализации на j -м уровне. Далее, по измененному таким образом спектру, обратным вейвлет-преобразованием синтезируем сигнал $f_j(t)$. Меняя j от 1 до j_0 , получим набор функций $\{f_j(t)\}$. Строим вектор признаков, компонентами которого являются отношения энергии всего сегмента к энергиям $f_j(t)$. Эти отношения характеризуют изменение энергии рассматриваемого сегмента на частотах среза $2\pi 2^j$ и в полосе частот $(2\pi 2^j, 2\pi 2^{j+1})$ [1, 6, 7]. В дальнейшем будем называть их отношениями энергий.

Спектры звуков, несмотря на их вариативность в разных реализациях и на разных спектральных срезах одной фонемы, имеют большое сходство для одной фонемы и значительно отличаются для разных фонем. Это отличие имеет стабильный характер и сохраняется от реализации к реализации, значит, по вектору признаков, построенному таким образом, можно будет адекватно провести классификацию.

Вычислив для сегмента выражения (2), (3) на каждом масштабе и отношения энергий, сформируем многомерный вектор, который будет являться вектором признаков. Эти признаки в дальнейшем будут использоваться в процессе распознавания речи для построения кодовой книги, обучения скрытых моделей Маркова и т.д.

Выводы

1. Используемое для представления сигнала вейвлет-преобразование позволяет адекватно описывать спектрально-временную структуру речевого сигнала. Основное отличие вейвлет-преобразования от преобразования Фурье состоит в локализации базисной функции как во временной, так и в частотной областях, что можно использовать при обработке речевых сигналов в качестве полосового фильтра, изменяющего свое расположение и ширину.

2. Предложенная система признаков, построенная с помощью относительных величин, устойчива к изменению абсолютного уровня входного сигнала и уровня записи.

3. Система признаков представляет собой вектор числовых значений фиксированной длины и пригодна для построения кодовой книги, обучения скрытых моделей Маркова и дальнейшего распознавания речи.

Список литературы: 1. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Изд-во ВУС, 1999. 208с. 2. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. 2002. Т. 171, №5. С. 465–500. 3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Там же. 1996. Т. 166, №11. С. 1145–1170. 4. Панов М.В. Современный русский язык. Фонетика. М.: Высш. школа, 1979. 256 с. 5. Ермоленко Т. В. Фонетический анализ речевого сигнала на основе вейвлет-разложения // Искусственный интеллект. 2003. №3. С. 409–416. 6. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во ООО "МОДУС+", 1999. 152с. 7. Новиков Л. В. Спектральный анализ сигналов в базисе вейвлетов // Научное приборостроение. 2000. Т. 10, № 3. С. 57–64. 8. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. Киев: Изд-во Наук.думка, 1987. 262 с. 9. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / Под ред. М. Басвиль, А. Бонвениста. М.: Мир, 1989. С. 10. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. М.: Радио и связь, 1981. 496с.

Поступила в редколлегию 13.09.2003

УДК 004.93

К.В. МУРЫГИН

ПОИСК ОБЛАСТИ ЛИЦА НА ИЗОБРАЖЕНИИ МЕТОДОМ СОПОСТАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОНОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСКОЛЬКИХ ШАБЛОНОВ

Введение

Проблема автоматического поиска области лица на изображении связана с быстро развивающейся областью автоматической обработки и анализа изображений лиц. Одним из наиболее популярных и имеющих большое практическое значение направлений в данной области является построение систем идентификации человека по изображению лица. При разработке любой системы автоматического анализа или обработки изображений лиц, как правило, выделяют два основных этапа: поиск области лица и его дальнейшая обработка. Такое разделение обусловлено тем, что скорость работы методов анализа не достаточна для обработки всего изображения, область лица на котором чаще всего занимает небольшую его часть. Поэтому задача предварительного обнаружения лица и определения его масштаба представляется актуальной и имеет самостоятельное значение.

1 Постановка задачи

В [1-3] описывается корреляционный метод поиска области лица на изображении, основанный на использовании одного шаблона. Такой метод в терминах векторной алгебры можно рассматривать как разложение всего пространства лиц по базису, состоящему из одного единственного вектора, заданного шаблоном лица. Естественно, такое приближение является достаточно упрощенным, учитывая огромное число всевозможных реализаций образа изображения лица, связанных с индивидуальными различиями лиц, разницей в условиях получения и аппаратуре ввода изображений. Очевидно, что использование подхода на основе нескольких статистически оптимально подобранных шаблонов позволит улучшить показатели работы метода поиска области лица на изображении. Такие шаблоны должны отражать наиболее значимые направления внутрикласового разброса пространства изображений лиц.

2 Метод, основанный на использовании нескольких шаблонов

Для устранения влияния яркости и контрастности произвольного изображения I на результат анализа будем считать, что изображения лиц предварительно стандартизированы так, что [4, 5]:

$$|I| = 1, \text{ а } \sum_i I_i = 0. \quad (1)$$

Для расчета коэффициента разложения произвольного изображения S по базисному вектору T удобно пользоваться соотношением

$$\alpha = \sum_i I_i T_i = \frac{(S, T) - M_S M_T N}{\sqrt{N D_S}}$$

Здесь M_S и D_S – среднее и дисперсия вектора (изображения) S ;

N – число измерений векторов;

M_T – среднее по элементам базисного вектора T ;

I – стандартизированное согласно (1) изображение S .

При выводе формулы использовалось свойство ортонормированности базиса T_i .

Пусть для произвольного вектора S найдены коэффициенты разложения по некоторому ортонормированному базису T_i , оптимальному для разложения лиц. Тогда для стандартизированного вектора I можно записать:

$$I \approx \sum_i \alpha_i T_i$$

Рассчитаем близость полученного разложения к вектору I:

$$P = \frac{\left(I, \sum_i \alpha_i T_i \right)}{\left| \sum_i \alpha_i T_i \right|}$$

Проведя несложные преобразования, учитывающие ортонормированность базиса T_i , получим:

$$P = \sqrt{\sum_i \alpha_i^2} \quad (2)$$

Так как базис T_i отражает свойства изображений лиц, то величина P отражает, насколько тестируемое изображение похоже на лицо. Таким образом, зная область, занимаемую лицами в пространстве α_i , можно осуществлять поиск лица на изображении.

Для поиска эффективного для пространства лиц базиса удобно использовать метод главных компонент [6, 7]. Метод главных компонент обычно применяется для сокращения размерности пространства при описании векторов определенного класса. Метод основан на устранении корреляции между различными элементами векторов. Пусть X – матрица, определяющая базу данных изображений лиц, на основе которой необходимо рассчитать искомый оптимальный базис. Столбцы матрицы X соответствуют отдельным изображениям лиц. Тогда для ковариационной матрицы имеем:

$$\Sigma_X = X \times X^T = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \dots & \sigma_{NN} \end{bmatrix}$$

где σ_{ij} вычисляется по формуле: $\sigma_{ij} = \sum_{k=1}^K X_{ik} X_{jk}$.

Здесь K – число изображений лиц в используемой базе данных. Оптимальным базисом будет базис, состоящий из собственных векторов ковариационной матрицы Σ_X .

Для поиска собственных векторов и собственных значений матрицы Σ_X был использован алгоритм, состоящий из двух этапов. На первом этапе выполняется алгоритм приведения симметричной матрицы к трехдиагональному виду. Затем выполняется QL алгоритм расчета собственных векторов и собственных значений.

Для расчета матрицы ковариации использовалась база данных изображений лиц одного масштаба. Объем базы составлял 376 изображений, полученных при разнообразных условиях съемки. Все изображения были приведены к размеру 12x8 точек и включали верхнюю часть лица: брови, глаза и нос. После проведения описанных выше расчетов были получены собственные векторы, представляющие собой базис пространства изображений лиц. Первые четыре «собственных лица», соответствующие наибольшим собственным значениям, показаны на рис. 1.

Представленные изображения собственных векторов очень хорошо показывают направления наибольших отклонений в изображениях лиц. Первый вектор является средним по базе

данных изображением лица. Второй, как видно из рисунка, соответствует изменениям изображения при боковом освещении. Третий отражает различие расстояний между линией бровей и линией глаз. Четвертый связан с наличием очков.

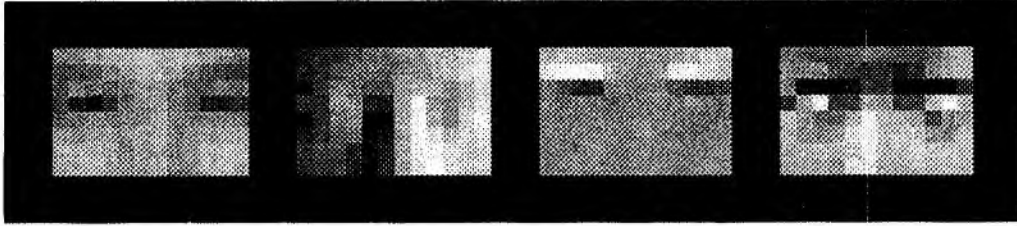


Рис. 1. Собственные векторы пространства изображений лиц, соответствующие наибольшим собственным значениям (в порядке убывания)

Собственные числа, соответствующие собственным векторам, отражают важность данного вектора в процессе разложения. Поэтому очень важен характер уменьшения собственных значений в зависимости от номера собственного вектора (см. рис. 2). Из графика видно, что важность собственных векторов очень быстро спадает, что дает возможность при разложении ограничиться только первыми из них.

Рассмотрим случай, когда используются три первых базисных вектора. Области, занимаемые изображениями лиц и фона в пространстве коэффициентов разложения $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ были получены экспериментально (рис. 3). Разделяющая классы кривая, показанная на рис. 3, является областью пресечения разделяющей поверхности и плоскости $\alpha_3 = 0$.

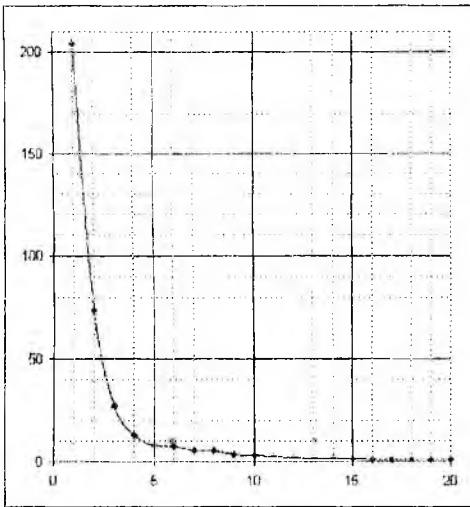


Рис. 2. Зависимость собственного значения от номера собственного вектора

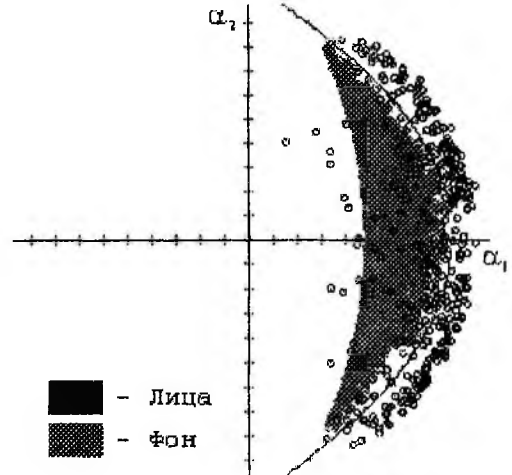


Рис. 3. Проекция областей лиц и фона на пространство параметров α_1, α_2

Разделяющая классы поверхность строилась на основе минимизации функции суммарной ошибки классификации градиентным методом. Предполагалось, что разделяющая поверхность является поверхностью второго порядка:

$$a_0 + a_1\alpha_1 + a_2\alpha_2 + a_3\alpha_3 + a_4\alpha_1^2 + a_5\alpha_2^2 + a_6\alpha_3^2 + a_7\alpha_1\alpha_2 + a_8\alpha_1\alpha_3 + a_9\alpha_2\alpha_3 = 0.$$

Функцию

$$S(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = a_0 + a_1\alpha_1 + a_2\alpha_2 + a_3\alpha_3 + a_4\alpha_1^2 + a_5\alpha_2^2 + a_6\alpha_3^2 + a_7\alpha_1\alpha_2 + a_8\alpha_1\alpha_3 + a_9\alpha_2\alpha_3 \quad (3)$$

можно рассматривать как более удобную для классификации лиц и фона меру сравнения изображения с набором шаблонов, чем меру сравнения, заданную выражением (2).

Результаты расчетов коэффициентов $\{a_i\}$ приведены в третьей колонке табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент	Член полинома	Значение	
		Полная модель	Упрощенная модель
a_0	1	-0,837	-0,819
a_1	α_1	1,006	0,974
a_2	α_2	-0,050	0
a_3	α_3	-0,051	0
a_4	α_1^2	-0,030	0
a_5	α_2^2	0,686	0,718
a_6	α_3^2	0,432	0,448
a_7	$\alpha_1\alpha_2$	0,014	0
a_8	$\alpha_1\alpha_3$	0,048	0
a_9	$\alpha_2\alpha_3$	-0,014	0

Анализ полученных данных показал, что разделяющая поверхность представляет собой эллиптический параболоид с осью симметрии, близкой с осью $(0, \alpha_1)$. Как видно из табл. 1, значимость членов полинома при расчете значения функции сравнения (3) существенно различается. Поэтому для сокращения времени расчетов можно исключить из рассмотрения те члены, которые вносят небольшой вклад в значение функции (3). Проводя аналогичный расчет коэффициентов на основе минимизации функции суммарной ошибки классификации градиентным методом, были получены данные, приведенные в четвертой колонке табл. 1.

3 Тестирование описанного метода

Тестирование описанного алгоритма проводилось на базе данных, состоящей из 517 изображений лиц и 10000 изображений фона. В ходе исследований для результатов сравнения (величина S из выражения (3)) изображений лиц и фона с набором шаблонов были рассчитаны функции плотности распределения (рис. 4 и 5). Графики получены для полной и упрощенной метрики (3) (колонки 3 и 4 табл. 1).

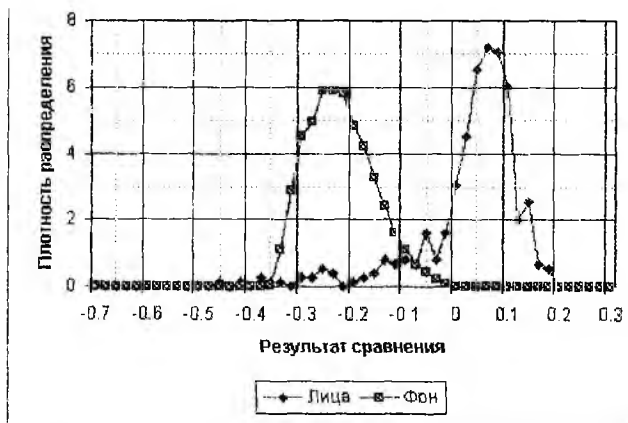


Рис. 4. Плотности распределения результата сравнения набора шаблонов лица с изображениями лиц из базы данных и изображениями фона (полная метрика)

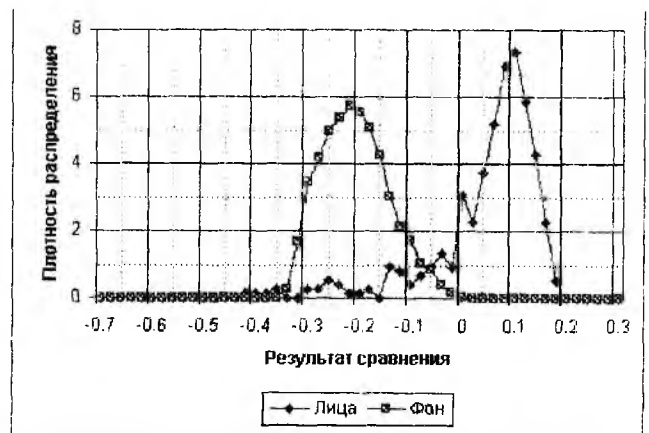


Рис. 5. Плотности распределения результата сравнения набора шаблонов лица с изображениями лиц из базы данных и изображениями фона (упрощенная метрика)

При выборе порога, соответствующего минимуму суммарной ошибки классификации (пропуск лиц плюс ложное обнаружение), были получены параметры работы метода обнаружения для двух описанных разделяющих поверхностей (табл. 2).

Таблица 2

Разделяющая поверхность	Ошибка пропуска лиц, %	Ошибка ложного обнаружения, %	Суммарная ошибка, %
полная	4,65	1,48	6,13
упрощенная	4,79	1,49	6,28

Таким образом, эффективности работы метода для обеих разделяющих поверхностей различаются незначительно, что позволяет для упрощения и ускорения расчетов использовать упрощенную меру сравнения (3), заданную коэффициентами, приведенными в четвертой колонке табл. 1.

Выводы

1. Исследована возможность использования нескольких шаблонов для корреляционного поиска области лица на изображении.
2. Для случая трех шаблонов получены параметры разделяющей классы лиц и фона поверхности.
3. Сравнение параметров работы описанного метода с методом, приведенным в [1-3], на одной базе данных лиц и фона показало снижение суммарной ошибки обнаружения с 8.6% до 6.3%.

Список литературы: 1. *Мурыгин К.В.* Автоматическое определение положения и размеров лица на изображении //Матер. науч. молодежн. школы "Интеллектуальные робототехнические системы - 2001". Таганрог: Изд. ТРТУ. 2001. С.133-135. 2. *Мурыгин К.В.* Автоматическое определение положения и размеров лица на изображении //Искусственный интеллект. 2001. №3. С.567-572. 3. *Мурыгин К.В., Ньюнкин К.М.* Компьютерное обнаружение лиц людей на изображении //Программные продукты и системы. 2001. №2. С.25-29. 4. *Ковалевский В.А.* Корреляционный метод распознавания изображений //Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 1962, 2, 4. 5. *Ковалевский В.А.* О корреляционном методе распознавания // Читающие автоматы. К.: Наукова думка, 1965. 6. *Moses Y., Adini Y., Ullman S.* Face recognition The problem of compensating for changes in illumination direction //In European Conf. on Computer Vision. 1994. P.286-296. 7. *Belhumeur P. N., Hespanha J. P. and Kriegman D. J.* Eigenfaces vs Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection //IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. Vol.19. P.711-720.

Поступила в редколлегию 29.08.2003

УДК 57.08:632.082

В.А. ШИГИМАГА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЖИВОТНЫХ

В мировой практике уже давно и успешно проводится реконструкция эмбрионов животных методом электрослияния, который является составной частью технологии эмбрионального клонирования [1,2]. Для этого используется известное явление электропробоя контактирующих мембран сливаемых клеток во внешнем импульсном электрическом поле высокой напряженности [3,4]. Однако, несмотря на известность и результативность этого метода, существует ряд весомых причин, по которым необходимо углубленно исследовать действие импульсного поля на эмбриональные клетки. Одна из них состоит в особенности этого действия на мембраны и аппарат клеток. Дело в том, что электрическое поле высокой напряженности может значительно снижать жизнеспособность реконструированных клеточных гибридов [5,6]. Отсюда возникает необходимость изучения электрофизических свойств клеток, связанных с их проводимостью в импульсном поле, которая может служить показателем целостности мембраны. Удобным модельным объектом исследования могут быть эмбриональные клетки мышцы. Несмотря на то, что результаты, полученные на этом объекте нельзя напрямую экстраполировать на другой объект, однако, используя принцип биологического подобия, можно ожидать качественно близких характеристик проводимости эмбриональных клеток других животных. Изучая эти характеристики, можно определить (как будет показано ниже) физическое состояние мембраны клетки, которая подвергается воздействию импульсного поля. Полных аналогов исследования проводимости (электрической прочности) мембран эмбриональных и половых клеток животных в импульсном поле в доступной литературе автором не обнаружено. Поэтому определение проводимости эмбриональных клеток становится актуальной задачей.

Определение проводимости клеток проведено с помощью аппаратуры, разработанной и подробно описанной ранее [7]. Аппаратура включала генератор одиночного импульса, напряжение которого подавалось на микроэлектроды из тонкой золотой нити, запаянной в стеклянный капилляр по методике [8]. Микроэлектроды закреплены в манипуляторах и юстированы соосно в поле зрения инвертированного микроскопа. Объект исследования размещался в капле среды 0,3М маннита между микроэлектродами на предметном стекле микроскопа. Для видеозаписи объектов использована видеокамера, смонтированная в микроскоп, видеоманитофон и телевизор. Процесс слияния после электропробоя наблюдали в окуляр микроскопа и на экране телевизора, одновременно записывая видеоизображение, которое потом оцифровано с помощью компьютера. Подключение измерительных средств установки выполнено через плату внешних соединений. Плата закреплена на предметном столике микроскопа в непосредственной близости от микроэлектродов для того, чтобы снизить электрические наводки на сигнальные провода.

Проводимость эмбриональных клеток определена косвенно методом последовательного с микроэлектродами калиброванного резистора путем измерения на нем амплитуды импульса с изменяемой длительностью. Проводимость объекта в межэлектродном пространстве определена по формуле:

$$G = \{U_p / R(U_{\text{вых}} - U_p)\} \cdot 10^3,$$

где G – проводимость, мкСм;

U_p – напряжение, измеренное на калиброванном резисторе, В;

$U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение генератора, В;

R – номинал калиброванного резистора, 1кОм (0,05%). В экспериментах по определению проводимости были использованы ооциты и 2-клеточные эмбрионы мышцы, а также ооциты коровы, полученные по стандартной методике [9].

Вначале была определена проводимость сред, которые обычно используются для работы с ооцитами и эмбрионами, а также в методе электрослияния. На рис. 1 в сравнении показаны зависимости проводимости стандартного фосфатносолевого буфера (ФСБ), дистиллированной воды и 0,3М раствора маннита (SIGMA) в этой воде от напряженности поля между микроэлектродами. Раствор маннита (6-атомный спирт $C_6H_{14}O_6$) в воде применяется в качестве одной из биологически нейтральных диэлектрических сред, в которых обычно проводится электрослияние клеток [3-5].

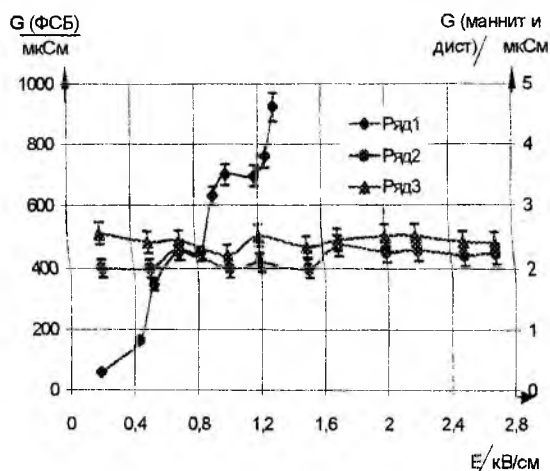


Рис. 1. Проводимость 0,3М маннита, дистиллята и ФСБ в зависимости от напряженности поля между микроэлектродами (ряд3 – маннит; ряд2 – дистиллят; ряд1 – ФСБ); длительность импульса 50мкс

По рис.1 можно сделать такие выводы. Во-первых, проводимость дистиллята подчиняется закону Ома, поскольку практически не зависит от напряженности поля между микроэлектродами, и это свидетельствует в пользу его качества. Отсюда также следует, что в данном интервале напряженности нет заметного электролиза, который в противном случае тут же проявил бы себя существенным повышением проводимости. Во-вторых, проводимость ФСБ, который содержит очень много ионов, даже при низких значениях напряженности более, чем на два порядка превышает таковую дистиллята. Это также однозначно показывает и на наличие сильнейшего электролиза. Следует обратить внимание на две интересные квазистабильные площадки на кривой проводимости ФСБ в интервале напряженности 0,7-1,2кВ/см. Они могут означать, по нашему мнению, электролизное разложение каких-то компонентов ФСБ, тем более что дальше проводимость резко возрастает. Из этого наблюдения становится ясно, почему электрослияние клеток энергетически выгоднее проводить в средах, которые по проводимости подобны дистилляту, таких, как, например, 0,3М маннит. Действительно, проводимость последнего в среднем всего лишь на 25% выше дистиллята. Тем не менее, следует заметить, что при некоторых значениях напряженности и в водном растворе 0,3М маннита, по-видимому, тоже происходят какие-то электролизные явления, которые нельзя, как уже отмечено выше, отнести к влиянию воды (рис. 1, ряд 2 и 3). Однако последствия этих явлений приводят к тому, что проводимость маннита в этих условиях изменяется незначительно и потому в нашем случае ими можно смело пренебречь. Кстати, по степени отклонения проводимости от прямой линии можно определять чистоту непроводящих сред. Всякое отклонение от прямой указывает на присутствие каких-то ионов. Поэтому вольтамперная характеристика непроводящих сред должна иметь вид прямой, наклон которой есть проводимость согласно закону Ома $I=G \cdot U$.

Что касается влияния длительности импульса на проводимость рассмотренных выше

сред, установлено незначительное и плавное ее снижение в диапазоне 7-170 мкс при фиксированной напряженности 0,5 кВ/см. Это значение выбрано потому, что при нем еще нет заметного влияния электролизных явлений, которые приводят потом к особенностям изменения проводимости.

Далее определена проводимость ооцитов мыши в растворе 0,3М маннита при различной длительности импульса с напряженностью поля 0,5 кВ/см (рис.2 а,б). При этом значении еще нет явления пробоя и поэтому клетки интактны (рис.3а). Оказалось, что в диапазоне 7-170 мкс проводимость ооцитов с целой мембраной изменяется хотя и нелинейно, но не сильно – меньше, чем в 2 раза. В противоположность этому заведомое повреждение мембраны приводит не только к значительному общему росту проводимости – почти на порядок, но и к значительной нелинейности кривой проводимости (рис.2а). Это означает, что прозрачная оболочка клетки не имеет барьерной функции по отношению к ионному содержимому цитоплазмы клетки с поврежденной мембраной (хорошо известный факт!). Однако, все же удерживая цитоплазму разрушенной клетки от расплзания, прозрачная оболочка образует, по-нашему мнению, вместе с ней конструкцию наподобие электролитического конденсатора с небольшой утечкой, который начинает эффективно работать на высоких частотах (коротких импульсах), что и приводит к повышению проводимости. Оценка емкости этого конденсатора дала величину порядка 250 пф, разумеется, с учетом паразитных емкостей. На рис.2б изображена зависимость проводимости трех разных интактных ооцитов мыши от длительности импульса. Проводимость их изменяется нелинейно, но не больше, чем в 2 раза при изменении длительности импульса в 25 раз. Отсюда следует, что в данном случае мембрана играет свою барьерную роль относительно ионов цитоплазмы, а вся клетка в целом под влиянием импульса действует, как конденсатор с хорошим диэлектриком и соответственно очень малой утечкой, но с емкостью раза в 3 меньше приведенной выше.

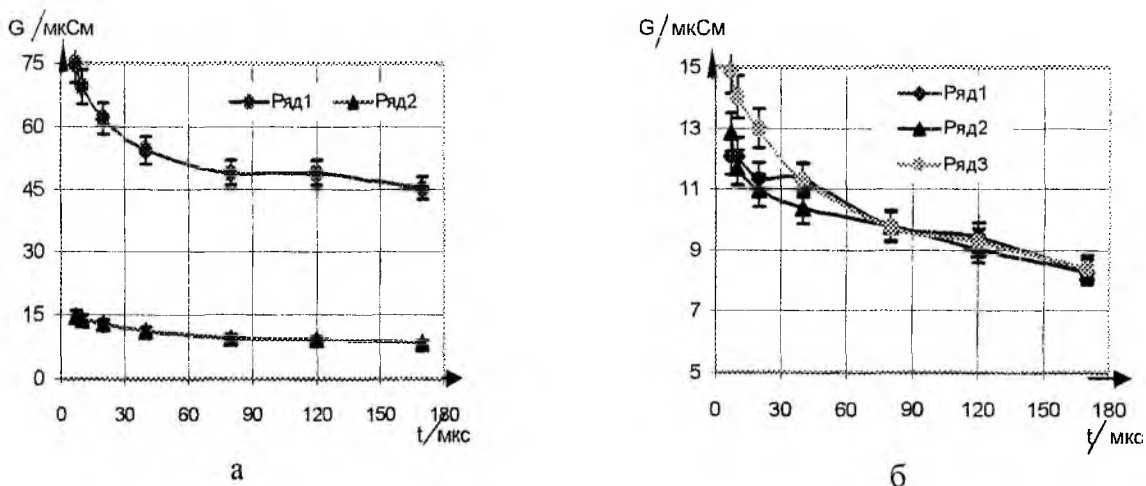


Рис. 2. Проводимость ооцитов мыши в 0,3М манните в зависимости от длительности импульса при напряженности 0,5кВ/см

(а – ряд 1 – с поврежденной мембраной, ряд 2 – интактный; б – проводимость трех интактных)

Установлено, что проводимость ооцитов мыши и коровы нелинейно зависит от напряженности импульсного поля (рис.3 а,б). Прямой участок в начале зависимости на рис.3а отвечает закону Ома. Это обусловлено квазистационарным состоянием мембраны, когда она еще сопротивляется приложенному внешнему полю, а ток в данном случае определяется в основном присутствием принесенных ионов в среде. Далее на кривой виден довольно резкий подъем проводимости, что произошло, видимо, вследствие электропорации [3] клеточной мембраны, т.е. образования малых пор с истечением небольшого количества ионов ци-

топлазмы клетки. За ним следует второй квазистационарный участок, но намного короче первого (0,7-0,9кВ/см). Это уже предпробойное состояние мембраны, после чего следует основной пробой с истечением значительного количества ионов цитоплазмы. Однако это еще не полное разрушение мембраны, поскольку она все еще способна к удержанию проводящей цитоплазмы. Это хорошо иллюстрирует третий квазистационарный участок (1,2-1,4кВ/см).

Далее с ростом напряженности следует полное и необратимое разрушение мембраны, поскольку проводимость уже довольно медленно растет, как в проводящей среде типа ФСБ, только со значительно низшей концентрацией ионов, которые появляются между микроэлектродами благодаря выходу в окружающее пространство из цитоплазмы разрушенной клетки. При этом в микроскоп видно заполнение вытекшей цитоплазмой всего внутреннего объема прозрачной оболочки ооцита. Подобным же образом ведет себя и проводимость ооцитов коровы с ростом напряженности (рис.3б) с той лишь разницей, что в данном случае имеют место только два квазистационарных участка, которые можно отнести к состоянию мембраны перед пробоем и разрушением. В общем, рис.3 иллюстрирует видовые особенности проводимости подобных клеток у коровы и мыши.

В заключение определена проводимость 2-клеточных эмбрионов мыши в зависимости от напряженности поля, – основная задача данной работы. Типичная кривая проводимости показана на рис.4. На рис.4а также видно стадию электропорации мембраны и предпробойный квазистационарный участок, как на рис.3а, но большей протяженности, что можно объяснить двойным сопротивлением мембран контактирующих бластомеров. На рис.4а видно, что повышать напряженность больше 1кВ/см нецелесообразно, поскольку это влечет за собой рост проводимости из-за разрушения мембран сливающейся пары. Сам процесс слияния после пробоя длится довольно долго – почти 2 часа до полного завершения объединения мембран двух бластомеров в одну общую. Промежуточный этап этого процесса показан на рис.4б. Рядом находится контрольный несливающийся 2-клеточный эмбрион. У сливающегося эмбриона хорошо видна общая мембрана, объединяющая два бывших бластомера, причем видны также два их ядра и место бывшего контакта мембран. У контрольного эмбриона видны оба отдельных бластомера со своими мембранами, а также место их контакта.

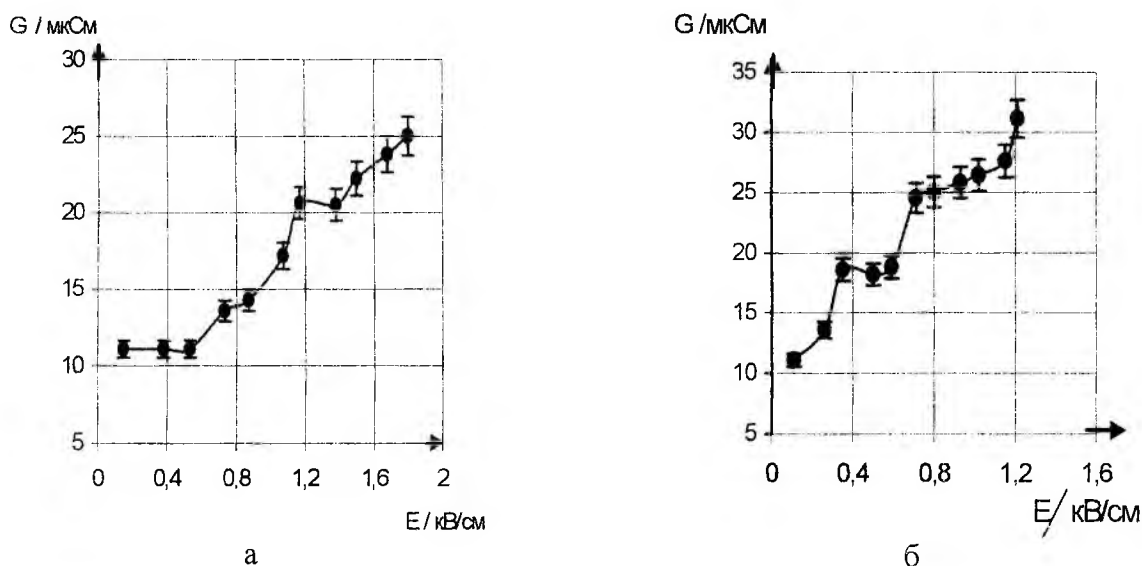
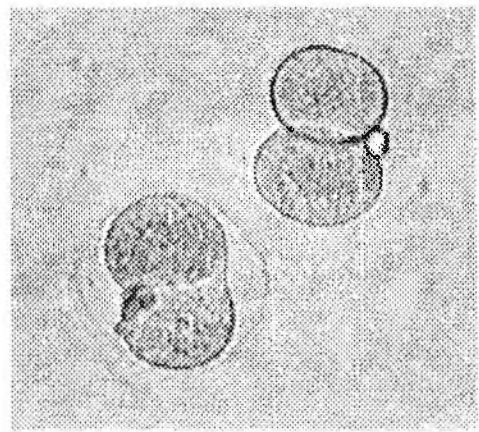
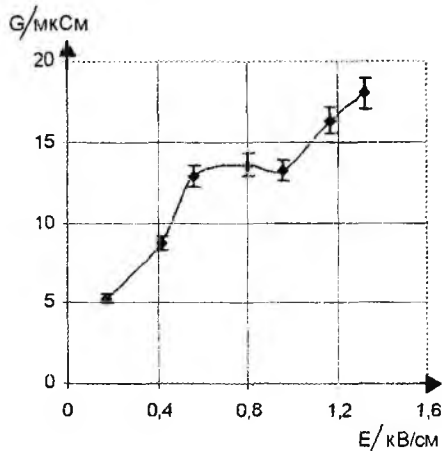


Рис.3. Проводимость: а – ооцитов мыши; б – ооцитов коровы в 0,3М манните в зависимости от напряженности поля при длительности импульса 60мкс



а

б

Рис.4. а – проводимость 2-клеточного эмбриона мыши в 0,3М манните в зависимости от напряженности поля; б – микрофотография в ФСБ на этапе слияния, рядом контрольный несливающийся эмбрион

Таким образом, характер изменения проводимости различных сред под действием импульсного поля с возрастающей напряженностью между микроэлектродами позволяет оценить чистоту диэлектрических сред типа дистиллята и 0,3М маннита, а также степень электролиза проводящих сред типа ФСБ. Характер изменения проводимости эмбриональных клеток под действием того же импульсного поля в 0,3М растворе маннита позволяет наблюдать последовательно все состояния их мембраны: электропорацию, пробой и необратимое разрушение, а также определить соответствующие им значения напряженности поля.

Автор благодарит м.н.с. Пинигина И.В. за оказанную большую методическую помощь в подготовке эмбриональных клеток мыши к измерениям.

Список литературы: 1. Prather RS, Stumpf TT, Rickords F. Nuclear transplantation as a method of producing genetically identical livestock//Anim.Biotech. 1992. V.3, N1. P.67-79. 2. Wilmut I, Schnieke AE, McWhir J, Kind AJ, Campbell K.H.S. Viable offspring derived from fetal & adult mammalian cells//Nature. 1997. V.385, P.810-813. 3. Zimmermann U., Neil G.A. Electromanipulation of cells. N.Y.: CRC Press, 1996. 375 p. 4. Hofmann GA, Evans GA. Electronic genetic physical and biological aspects of cell electromanipulation//IEEE eng. in med.and biol.magaz. 1986. №12. P.6-25. 5. Черномордик Л.В. Электростимулируемое слияние клеток//Успехи совр.биол. 1984. Т.98, Вып3(6). С.395- 408. 6. Smith LC, Wilmut I. Factors affecting the viability of nuclear transplanted embryos//Theriogen. 1990. V.33, N1. P.153-164. 7. Шигимага В.О. Апаратура для електрозлиття та вивчення провідності клітин // Вісник Харків. держ. техн. ун-ту с/г-ва. Харків. 2001. Вип.6. С.386-389. 8. Лусин В.И. Методика изготовления металлических микроэлектродов//Вісник Полтавського ДСГП. Полтава. 2001. №2-3. С.41-42. 9. Биология развития млекопитающих: Методы /Пер. с англ. под ред. М. Манк. М.: Мир, 1990. 406с.

Поступила в редколлегию 17.09.2003

УДК 681.3

Е.Е. ФЕДОРОВ

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ДЕЙСТВИЙ В РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Для создания аппаратно-программной части естественно-языкового интерфейса, предназначенного для распознавания команд системы управления, произведена формализация описаний действий как составных частей этих команд.

Постановка проблемы. В современных интеллектуальных системах управления общение человека с компьютером должно осуществляться через естественно-языковой интерфейс, ориентированный на родной язык оператора. Исходя из этого, возникает необходимость в формализации языка команд.

Анализ исследований. В [1-4], посвященных анализу языка и речи, рассматриваются математические модели и методики, созданные для частных случаев.

Постановка задачи. Разработать методику формализации описаний действий, входящих в состав команд (предложений русского языка) интеллектуальной системы.

Основной материал. Согласно [5-6], в любой команде системы управления могут быть выделены объекты и действия над ними. В качестве объекта рассматривается любое физическое тело, в качестве действия – операция, производимая над ним. В статье рассматривается только описание действий.

При описании действия P [7] применяется двойственное представление:

- а) P_1 – в виде последовательности слов;
- б) P_2 – в виде имени действия и его признаков.

При первом описании, в соответствии с правилами морфологии, за каждым словом закрепляется предикат $C(L, y, Z)$ со следующими переменными:

- а) начальная форма $L = (l_1, \dots, l_m)$, где l_i – i -я буква начальной формы;
- б) часть речи y (их обозначение приведено в табл.1);
- в) вектор морфологических признаков $Z = (z_1, \dots, z_9)$, соответствующий части речи y (обозначение $z_1 - z_9$ приведено в табл.2-10).

Тогда описание действия P_1 , согласно алгебре конечных предикатов, имеет вид:

$$P_1(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \equiv \bigwedge_{def\ i=1}^n C(L_i, y_i, Z_i). \quad (1)$$

Второй вид описания предусматривает, что действие представлено именем и признаками.

Имя действия соответствует непосредственно действию (например, «двигайся»), а признак соответствует таким характеристикам действия, как скорость выполнения (например, «быстро»), направление (например, «вперед») и др.

Выделяя имя и признак действия, необходимо рассматривать две составляющие представления слова – часть речи y и соответствующий ей вектор морфологических признаков Z .

Для специализированного набора команд интеллектуальной системы, имеющей ограниченный (счетный) набор слов и словосочетаний, имя действия может быть представлено словом, которое, как часть речи, является:

- прилагательным y^2 , имеющим краткую форму z_4^2 ;
- глаголом y^5 .

Соответствующая запись имени действия представлена в виде

$$E(L, y, Z) \underset{def}{\equiv} (z_4^2 y^2 \vee y^5) C(L, y, Z). \quad (3)$$

Таблица 1

Часть речи	сущест- вительное	прилагательное	числительное	местоимение	глагол	наречие	предлог	союз	частица
Обозначение	y^1	y^2	y^3	y^4	y^5	y^6	y^7	y^8	y^9

Таблица 2

Род	Обозначение
мужской	z_1^1
женский	z_1^2
средний	z_1^3

Таблица 3

Число	Обозначение
единственное	z_2^1
множественное	z_2^2

Таблица 4

Форма	Обозначение
полная	z_4^1
краткая	z_4^2

Таблица 5

Падеж	именитель- ный	родитель- ный	датель- ный	винитель- ный	твори- тельный	предлож- ный
Обозна- чение	z_3^1	z_3^2	z_3^3	z_3^4	z_3^5	z_3^6

Таблица 6

Тип числительного	Обозначение
количественное	z_5^1
порядковое	z_5^2

Таблица 7

Тип местоимения	Обозначение
указывает на предмет	z_6^1
указывает на признак	z_6^2
указывает на количество	z_6^3

Таблица 8

Лицо	Обозначение
первое	z_7^1
второе	z_7^2
третье	z_7^3

Таблица 9

Время	Обозначение
настоящее	z_8^1
прошедшее	z_8^2
будущее	z_8^3

Таблица 10

Наклонение	Обозначение
изъявительное	z_9^1
повелительное	z_9^2
условное	z_9^3

В свою очередь признак действия может быть представлен словом $C(L, y, Z)$, которое как часть речи является наречием y^6 .

$$\Phi(L, y, Z) \underset{def}{\equiv} y^6 C(L, y, Z) \quad (4)$$

Исходя из (3) – (4), сформировано общее правило описания действия P_2 в виде имени и набора признаков:

$$P_2(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \stackrel{\text{def}}{=} E(L_1, y_1, Z_1) \bigwedge_{i=2}^n \Phi(L_i, y_i, Z_i). \quad (5)$$

Особенности письменного и устного русского языка, отраженные в голосовых командах (отданных при управлении процессами), предусматривают оба вида описаний действия, представленных как отдельно, так и совместно, причем в понятийном смысле оператор системы управления воспринимает их как взаимное отображение этих видов описаний, т.е.

$$P_1 \leftrightarrow P_2. \quad (6)$$

Это нашло свое выражение в объединении принципов формализации (1) и (5) в виде (7)

$$P_3(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \stackrel{\text{def}}{=} P_1(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \vee P_2(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \quad (7)$$

Принцип формализации (7) является прямым отображением первых двух описаний действий на их обобщенное описание, которое может быть закреплено в виде соответствующей аксиомы.

Аксиома прямого отображения

Если действие может быть описано как последовательностью слов P_1 , так и в виде имени и признаков P_2 , то может быть сконструировано обобщенное описание действия P_3 , сочетающее оба эти вида

Эта аксиома предназначена для функционирования подсистемы обучения голосовым командам, предвещающей выполнение действия над объектом.

Аналогично сформулирована вторая аксиома.

Аксиома обратного отображения

Если описание действия задано в обобщенном виде P_3 и в виде последовательности слов P_1 (или имени и признаков P_2), то из обобщенного описания P_3 может быть сконструировано описание в виде имени и признаков P_2 (или последовательности слов P_1)

Эта аксиома предназначена для функционирования подсистемы распознавания в процедурах синтеза и анализа речевых команд соответственно.

Согласно требованию детерминизма формальных имен в базе данных интеллектуальной системы и целесообразности установления взаимосвязей между ними, вводятся дополнительные обозначения в виде следующих предикатов:

$S(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, \hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$ – непротиворечивость сочетания слов $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ и $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$,

$Eq(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, \hat{L}, \hat{y}, \hat{Z}) \stackrel{\text{def}}{=} \bigwedge_{i=1}^m (\tilde{l}_i \sim \hat{l}_i) (\tilde{y} \sim \hat{y}) \bigwedge_{j=1}^9 (\tilde{z}_j \sim \hat{z}_j) C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}) C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$ – эквива-

лентность слов $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ и $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$.

Кроме перечисленных правил, определяющих описание действий команд системы управления с помощью морфологических правил, существуют известные наборы синтакси-

ческих правил русского языка, на основании которых могут быть сформулированы леммы 1-3. Опираясь на эти леммы и алгебру предикатов, сформируем правила взаимосвязи R1-R3.

Леммы логической взаимосвязи имени и признака действия

Лемма 1

Если для двух слов $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ и $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$, одно из которых прилагательное в краткой форме, а другое наречие, их сочетание непротиворечиво, и слово $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ связано с описанием действия (соответствует i -му слову в описании), то $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$ тоже связано с этим действием (соответствует j -му слову в описании) и справедливо логическое правило R1:

$$C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})\tilde{y}^2\tilde{z}_4^2\hat{y}^6S(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, \hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})P_1(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \times \\ \times Eq(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, L_i, y_i, Z_i) \Rightarrow Eq(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z}, L_j, y_j, Z_j)$$

Лемма 2

Если для двух слов $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ и $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$, одно из которых глагол, а другое наречие, их сочетание непротиворечиво, и слово $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ связано с описанием действия (соответствует i -му слову в описании), то $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$ тоже связано с этим действием (соответствует j -му слову в описании) и справедливо логическое правило R2:

$$C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})\tilde{y}^5\hat{y}^6S(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, \hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})P_1(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \times \\ \times Eq(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, L_i, y_i, Z_i) \Rightarrow Eq(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z}, L_j, y_j, Z_j)$$

Аналогично для закрепления взаимоотношений между признаками действия введена лемма 3. Опираясь на эту лемму и алгебру предикатов, сформировано правило взаимосвязи R4.

Лемма 3 (Лемма логической взаимосвязи двух признаков действия)

Если для двух слов $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ и $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$, которые являются наречиями, их сочетание непротиворечиво, и слово $C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})$ связано с описанием действия (соответствует i -му слову в описании), то $C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})$ тоже связано с этим действием (соответствует j -му слову в описании) и справедливо логическое правило R3:

$$C(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z})C(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})\tilde{y}^6\hat{y}^6S(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, \hat{L}, \hat{y}, \hat{Z})P_1(L_1, y_1, Z_1, \dots, L_n, y_n, Z_n) \times \\ \times Eq(\tilde{L}, \tilde{y}, \tilde{Z}, L_i, y_i, Z_i) \Rightarrow Eq(\hat{L}, \hat{y}, \hat{Z}, L_j, y_j, Z_j)$$

Таким образом, при формальном описании действий над объектами, фигурирующих в командах системы управления, сформированы их двойственные представления – в виде последовательности слов и в виде имени и признаков, а для закрепления финитных взаимоотношений и логических взаимосвязей в базе данных сформулированы леммы и соответствующие им логические правила

Выводы и перспективы Для ограниченного набора команд интеллектуальной системы произведено формирование имен и признаков описаний действий (выполняемых над объектами), сформулированы леммы логической взаимосвязи описаний действий. Основные положения данной работы могут быть реализованы в интеллектуальной системе в виде алгоритмов, обеспечивающих общение с пользователем на естественном языке.

Список литературы: 1. *Васильев В.И., Шевченко А.И.* Формирование и опознавание образов. Донецк: ДонДГИИИ, 2000. 360 с. 2. *Шевченко А.И., Федоров Е.Е.* Разработка естественно-языкового интерфейса интеллектуальной медицинской системы // Тр. Междунар. дистанционной научно-практической конф. «Автоматизированное рабочее место врача 2002». Днепропетровск, 2002. С.327-330. 3. *Федоров Е.Е.* Разработка каскадной процедуры распознавания речи // Искусственный интеллект. 2003. № 1. С. 203-213. 4. *Криводубский О.А., Федоров Е.Е.* Формальное представление русского языка и речи // Искусственный интеллект. 2003. № 4. С. 402-410. 5. *Кисленко Ю.І.* Поліпредикатна інтерпретація однорідних членів речення // Искусственный интеллект. 2002. С.226-235. 6. *Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1989. 328 с. 7. *Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г.* Основы теории синтеза надшвидкодiючих структур мовних систем штучного iнтелекту. К.: IЗМН, 1997. 264 с.

Поступила в редколлегию 27.09.2003

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Абусабха Валид Мохаммед – аспирант каф. БМЭ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Буслик Николай Николаевич – проф., д.т.н., каф. ИИ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Васильев Николай Дмитриевич – науч. сотр., Харьковский национальный университет
- Дюбка Геннадий Федорович – к.т.н., проф., Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Ермоленко Татьяна Владимировна – аспирант Донецкого государственного института искусственного интеллекта
- Зима Иван Иванович – д.т.н., проф., ведущ. науч. сотр., Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Лапта Сергей Иванович – канд. физ.-мат. наук, доцент каф. ВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Лесная Наталья Советовна – проф., проректор по учебной и методической работе, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Мурьгин Кирилл Валериевич – аспирант Донецкого государственного института искусственного интеллекта
- Мустецов Николай Петрович – к.т.н., проф. каф. БМЭ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Смелякова Анастасия Сергеевна – ст. гр. ПОАС-00-1, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Тимофеев Сергей Павлович – м.н.с., каф. ИИ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Федоров Евгений Евгеньевич – к.т.н., ст. пр. каф. Программного обеспечения интеллектуальных систем, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта
- Фуджу Халлид Исса – аспирант каф. ПО ЭВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
- Шевчук Василий Васильевич – инженер Донецкого государственного института искусственного интеллекта
- Шигимага Виктор Александрович – канд. с.-х. наук, зав. лаб. клеточной инженерии ХБТЦ, ст. науч. сотр. по специальности «биотехнология», Харьковский национальный университет радиоэлектроники

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лесная Н.С., Смелякова А.С.</i> Аппроксимация границ изображений на основе онтологической структуризации системы фильтров	3
<i>Буслик Н.Н., Тимофеев С.П.</i> Об одной модели структуры словарной статьи и ее применении к задаче преобразования традиционного словаря в документ XML	8
<i>Дюбка Г.Ф., Фуджу Халлид Исса</i> Применение грамматик в базах знаний экспертных систем	19
<i>Васильев Н.Д., Зима И.И.</i> Магнитная роторная предиссоциация воды	27
<i>Ланга С.И.</i> Повышение диагностической информативности ПТТГ (на основе компьютерного моделирования динамики гликемии)	33
<i>Абусабха В.М., Мустецов Н.П.</i> Модель распространения акустической волны по трахеобронхиальному дереву легких ...	42
<i>Ермоленко Т.В., Шевчук В.В.</i> Новая система признаков для распознавания речевых единиц, полученная с помощью вейвлет-преобразования	51
<i>Мурыгин К.В.</i> Поиск области лица на изображении методом сопоставления с эталоном с использованием нескольких шаблонов	55
<i>Шигимага В.А.</i> Определение проводимости эмбриональных клеток животных	60
<i>Е.Е. Федоров</i> Формальное представление действий в русском языке	65

CONTENTS

<i>Lesnaya N.S., Smelyakova A.S.</i> Approximation of image bounds with ontological structuring of filter system	3
<i>Buslik N.N., Timofeyev S.P.</i> About a dictionary entry model and its application in the problem of converting a traditional dictionary into XML document	8
<i>Djubko G.F., Fudju Khalid Issa</i> Grammar appliance in expert systems knowledge base	19
<i>Vasilev N.D., Zima I.I.</i> Magnetic rotary water predissociation	27
<i>Lapta S.I.</i> The improvement in diagnostic informativeness of the peroral glucose tolerance test (on the basis of the computer modeling of the glycemic dynamics)	33
<i>Abusabha W.M., Mustetsov N.P.</i> A model of acoustic waves spreading in tracheobronchial human lung tree.....	42
<i>Yermolenko T.V., Shevchuk V.V.</i> New system of features for speech units recognition produced by wavelet-transformation.....	51
<i>Murygin K.V.</i> Face detection by template matching using set of templates	55
<i>Shigimaga V.A.</i> Determination of animal embryonic cells conductivity.....	60
<i>Fedorov U.</i> Formal representation of operations in Russian language.....	65

РЕФЕРАТЫ

РЕФЕРАТИ

ABSTRACTS

УДК 007.001.362

Аппроксимация границ изображений на основе онтологической структуризации системы фильтров / Н.С.Лесная, А.С.Смелякова // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 3-7.

Показана актуальность развития моделей и методов аппроксимации границ изображений с целью формализации описания их характеристик. На этой основе предложена онтологическая структуризация системы фильтров, применение которой в новых информационных технологиях предназначено для эффективного поиска, хранения и иных видов обработки данных, возникающих в ГИС.

Табл. 3. Ил.: 4. Библиогр.: 3 назв.

УДК 007.001.362

Апроксимация меж зображень на основі онтологічної структуризації системи фільтрів / Н.С.Лесна, А.С. Смелякова // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 3-7.

Показано актуальність розвитку моделей та методів апроксимації меж зображень з метою формалізації опису їх характеристик. На цій основі запропонована онтологічна структуризація системи фільтрів, впровадження якої в новітніх інформаційних технологіях призначене для ефективного пошуку, зберігання та інших видів обробки даних, які з'являються в ГІС.

Табл. 3. Ил.: 4. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 007.001.362

Approximation of image bounds with ontological structuring of filter systems / N.S.Lesnaya, A.S.Smelyakova // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 3-7.

The actuality of new models and methods development for approximation of image bounds with the purpose of formalising their characteristics description is shown. For this, an ontological structuring of filter system, which appliance in modern informational technologies provides efficient searching, storing and processing of data emerging in GIS is offered.

Tab. 3. Fig. 4. Ref.: 3 items.

УДК 519.7

Об одной модели структуры словарной статьи и ее применении к задаче преобразования традиционного словаря в документ XML / Н.Н.Буслик, С.П. Тимофеев // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 8-18.

Предложена модель структуры словарной статьи, обеспечивающая решение задачи преобразования традиционного словаря в документ XML. В терминах технологии XML решена задача преобразования презентации документа в его информационное наполнение для некоторого класса презентаций. Результаты работы могут быть использованы для формализации других типов печатных документов.

Библиогр.: 15 назв.

УДК 519.7

Про одну модель структури словникової статті та її застосуванні до задачі перетворення традиційного словника на документ XML / М.М.Буслик, С.П. Тимофеев // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 8-18.

Запропоновано модель структури словникової статті, що забезпечує розв'язок задачі перетворення традиційного словника на документ XML. В термінах технології XML дано розв'язання задачі перетворення презентації документу на його інформаційне наповнення для певного класу презентацій. Результати дослідження можуть бути використані для формалізації інших типів друкованих документів.

Бібліогр.: 15 назв.

UDC 519.7

About a dictionary entry model and its application in the problem of converting a traditional dictionary into XML document / N.N. Buslik, S.P. Timofeyev // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 8-18.

A dictionary entry model providing a solution of the problem of converting a traditional dictionary into XML-document is proposed. In XML terms a task of conversion of a document presentation into its content for a certain class of presentations is solved. The results can be used in the formalisation of other types of printed documents.

Ref.: 15 items.

УДК 681.3

Применение грамматик в базах знаний экспертных систем / Г.Ф.Дюбко, Фуджу Халлид Исса // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 19-26.

В качестве модели представления и манипулирования лингвистическими знаниями выбрана атрибутивная транслирующая грамматика. Предложены способы построения семантических правил в грамматиках, описывающих языки проектирования цифровых устройств. Разработаны методы построения синтаксических анализаторов с обходом атрибутивного синтаксического дерева.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.3

Застосування граматик у базах знань експертних систем / Г.Ф.Дюбко, Фуджу Халлід Ісса // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 19-26.

Як модель подання та маніпулювання лінгвістичними знаннями використано атрибутивну транслуючу граматику. Запропоновано засоби побудови семантичних правил у граматиках, що описують мови проектування цифрових пристроїв. Розроблено методи побудови синтаксичних аналізаторів з обходом атрибутивного синтаксичного дерева.

Іл. 2. Бібліогр.: 4 назв.

UDC 681.3

Grammar appliance in expert systems knowledge base / G.F.Djubko, Fudju Khalid Issa // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 19-26.

As a model of representation and manipulation of linguistic knowledge the attribute broadcasting grammar is chosen. Ways of construction of semantic rules in the grammars that describe languages of digital devices are offered. Methods of syntactic analyzers construction with a detour of an attribute syntactic tree are developed.

Fig. 2. Ref.: 4 items.

УДК 538.00.00

Магнитная роторная предиссоциация воды / Н.Д.Васильев, И.И.Зима // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 27-32

Показана возможность существования явления магнитной роторной предиссоциации воды, основанного на снижении прочности ее молекулярных связей.

Ил. 2. Библиогр.: 8 назв.

УДК 538.00.00

Магнітна роторна предисоціація води / А.В.Васильєв, І.І.Зима // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 27-32.

Показано можливість існування явища магнітної роторної предисоціації води, яке ґрунтується на зменшенні міцності її молекулярних зв'язків.

Іл. 2. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 538.00.00

Magnetic rotary water predissociation / N.D.Vasilev, I.I. Zima // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 27-32.

The opportunity of existence of the magnetic rotary water predissociation phenomenon based on the decrease in its molecular connections stronghold is shown.

Fig. 2. Ref.: 8 items.

УДК 519.95:612.018

Повышение диагностической информативности ПТТГ (на основе компьютерного моделирования динамики гликемии) / С.И.Лапта // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 33-41.

Построена новая система диагностики сахарного диабета по значениям параметров оригинальной математической модели динамики гликемии. Ее параметры идентифицируются автоматически в соответствии с гликемическими данными перорального теста толерантности к глюкозе, проведенного у пациента. Выяснено, что вид гликемической кривой теста при заданной функции всасывания глюкозы в кишечнике однозначно практически полностью определяется числовыми значениями четырех основных параметров модели. Для значений этих параметров разработаны диагностические границы, которые позволяют отделить нарушения толерантности к глюкозе от нормы и от сахарного диабета. По различию в значениях этих параметров появилась возможность проведения дифференциальной диагностики гетерогенного класса состояний с нарушенной толерантностью к глюкозе.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр.: 16 назв.

УДК 519.95:612.018

Підвищення діагностичної інформативності ПТТГ (на основі комп'ютерного моделювання динаміки глікемії) / С.І.Лапта // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 33-41.

Побудовано нову систему діагностики цукрового діабету за значеннями параметрів оригінальної математичної моделі динаміки глікемії. Її параметри ідентифікуються автоматично у відповідності до глікемічних даних перорального тесту толерантності до глюкози, проведеного у пацієнта. З'ясовано, що вигляд глікемічної кривої тесту за заданої функції всмоктування глюкози у кишечнику однозначно практично повністю визначається числовими значеннями чотирьох основних параметрів моделі. Для значень цих параметрів розроблені діагностичні границі, що дозволяють відокремити порушення толерантності до глюкози від норми та від цукрового діабету. По відмінностях у значеннях цих параметрів з'явилась можливість проведення диференційної діагностики гетерогенного класу станів з порушеною толерантністю до глюкози.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 16 назв.

UDC 519.95:612.018

The improvement in diagnostic informativeness of the peroral glucose tolerance test (on the basis of the computer modeling of the glycemic dynamics) / S.I.Lapta // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P.33-41.

A new system of the pancreatic diabetes diagnostics according to the parameters of the glycemic dynamics original mathematical model is built. The model parameters are automatically identified in accordance with the glycemic data of the patient's per oral glucose tolerance test. It is ascertained that the glycemic curve form of the test at the giving function of the intestine glucose absorption is practically entirely determined by the numeral values of the four basic model parameters. For these parameter values the diagnostic limits that permit to differ the impaired glucose tolerance state from the norm and from the pancreatic diabetes are elaborated. According to the difference in these parameter values the possibility of carrying out the heterogeneous class differential diagnostics of impaired glucose tolerance states is appeared.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 16 items.

УДК 519.7

Модель распространения акустической волны по трахеобронхиальному дереву легких / В.М.Абусабха, Н.П.Мустецов // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 42-50.

Предложена модель, описывающая распространение звуковых волн в легких человека. Легкие рассматриваются как две связанные акустические системы, одна из которых имеет фиксированные геометрические размеры, а другая, альвеолярная система, изменяется в процессе дыхания. Получено соотношение, позволяющее интерпретировать результаты пульмофонографических исследований и получать количественные показатели дыхания.

Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 519.7

Модель розповсюдження акустичної хвилі по трахеобронхіальному дереві легенів / В.М.Абусабха, М.П.Мустецов // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 42-50.

Запропоновано модель, що описує розповсюдження акустичних хвиль в легенях людини. Легені розглядаються як дві акустичні системи, одна з яких має фіксовані геометричні розміри, а друга, альвеолярна система, змінюється в процесі дихання. Отримано співвідношення, що дозволяє аналізувати результати пульмофонографічних досліджень та отримувати кількісні показники дихання.

Ил. 2. Бібліогр.: 7 назв.

UDK 519.7

A model of acoustic waves spreading in tracheobronchial human lung tree. / W.M.Abusabha, N.P.Mustetsov // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P.42-50.

A model that describes acoustic waves spreading in human lungs is offered. Human lungs are considered as two connected acoustical systems, one of which has fixed geometric dimensions and the other, alveolar system, differs during breathing. The correlation that enables interpreting the pulmophonograph research results and obtaining quantitative figures of breath is attained.

Fig. 2. Ref.: 7 items.

УДК 004.934.1

Новая система признаков для распознавания речевых единиц, полученная с помощью вейвлет-преобразования / Т.В.Ермоленко, В.В.Шевчук // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 51-54.

Предложен метод построения вектора признаков фонем с помощью вейвлет-фильтров Добеши. По полученному вейвлет-спектру вычисляются энергии всего сигнала и сигнала после фильтрации полосовыми фильтрами. Далее рассматриваются отношения этих энергий, что характеризует изменение энергии в зависимости от частоты среза. Этот показатель имеет стабильный характер для одной фонемы и отличается для различных фонем.

Библиогр.: 10 назв.

УДК 004.934.1

Нова система ознак для розпізнавання мовних одиниць, створена за допомогою вейвлет-аналізу / Т.В.Ермоленко, В.В.Шевчук // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 51-54.

Запропоновано метод побудови вектора ознак фонем за допомогою вейвлет-фільтрів Добеши. За отриманим вейвлет-спектром обчислюються енергії усього сигналу та сигналу після фільтрації смуговими фільтрами. Далі розглядаються відношення цих енергій, що характеризує зміну енергії в залежності від частоти зрізу. Цей показник має стабільний характер для однієї фонемі та відрізняється для різних фонем.

Бібліогр.: 10 назв.

UDC 004.934.1

New system of features for speech units recognition produced by wavelet-transformation / T.V.Yermolenko, V.V.Shevchuk // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 51-54.

The method for constructing the vector of phoneme features by means of Daubechies' wavelet-filters is proposed. On obtained wavelet-spectrum the energies of the whole signal and band-pass filtered signal are calculated. Then the ratio of these energies is considered, that characterizes the energy variation depending on a cut frequency. This parameter has stable value for one phoneme and accepts different values for different phonemes.

Ref.: 10 items.

УДК 004.93

Поиск области лица на изображении методом сопоставления с эталоном с использованием нескольких шаблонов / К.В.Мурыгин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 55-59.

Разработан метод автоматического поиска области лица на изображении, основанный на сопоставлении с набором шаблонов. Для формирования шаблонов используется статистика внутри-классового разброса изображений лиц. Для случая использования трех шаблонов получена разделяющая классы лиц и фона поверхность, которая строится на основе минимизации суммарной ошибки классификации градиентным методом.

Табл. 2. Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

УДК 004.93

Пошук області обличчя на зображенні методом зіставлення з еталоном з використанням декількох шаблонів / К.В. Муригін // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 55-59.

Розроблено метод автоматичного пошуку області обличчя на зображенні, який базується на зіставленні з набором шаблонів. Для формування шаблонів використовується статистика внутрішньо-класового відхилення зображень облич. Для випадку використання трьох шаблонів отримана поверхня, яка розділяє класи облич і фону та будується на основі мінімізації сумарної помилки класифікації градієнтним методом.

Табл. 2. Іл. 5. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.93

Face detection by template matching using set of templates / K.V. Murygin // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 55-59.

The method of automatic face detection based on the matching with set of templates is developed. Within class scatter statistics is used for templates forming. The class that separates face and surface for case of using three templates is obtained. For the surface calculation the gradient method to minimize total classification error is used.

Tab. 2. Fig. 5. Ref.: 7 items.

УДК 57.08:632.082

Определение проводимости эмбриональных клеток животных / В.А. Шигимага // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 60-64.

Приведены результаты определения проводимости некоторых диэлектрических сред, эмбриональных клеток мыши и коровы под воздействием импульсного электрического поля высокой напряженности, сформированного посредством аппаратуры собственной разработки. Показана роль возрастающей напряженности поля, величина которой определяет состояние электропорации и пробоа эмбриональных клеток, а также слияния мембран 2-клеточных эмбрионов мыши.

Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

УДК 57.08:632.082

Визначення провідності ембріональних клітин тварин / В.О. Шигімага // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 60-64.

Наведено результати визначення провідності деяких діелектричних середовищ, а також ембріональних клітин миші та корови під дією імпульсного електричного поля високої напруженості, сформованого за допомогою апаратури власної розробки. Показано роль зростаючої напруженості поля, величина якої визначає стан електропорації та пробою ембріональних клітин, а також злиття мембран двоклітинних ембріонів миші.

Л. 4. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 57.08:632.082

Determination of animal embryonic cells conductivity / V.A. Shigimaga // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 60-64.

The results of the conductivity of some of dielectric environment as well as mouse and cow embryonic cells exposed to high pulse electric field produced by self-designed equipment are presented. The role of increasing field strength that determines a conditions of embryonic cells electroporation and a gap, as well as a fusion of the two-cell mouse embryo is shown.

Fig. 4. Ref.: 9 items.

УДК 681.3

Формальное представление действий в русском языке / Е.Е. Федоров // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 59. С. 65-69.

Для создания аппаратно-программной части естественно-языкового интерфейса распознавания специализированных команд интеллектуальной системы управления произведена формализация действий, входящих в состав команд (предложений русского языка).

Табл. 10. Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.3

Формальне представлення дій у російській мові / Є.Є. Федоров // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. № 59. С. 65-69.

Для створення апаратно-програмної частини природно-мовного інтерфейсу розпізнавання спеціалізованих команд інтелектуальної системи керування зроблена формалізація дій, що входять до складу команд (речень російської мови).

Табл. 10. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.3

Formal representation of operations in Russian language / U.Fedorov // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2003. № 59. P. 65-69

For the hardware creation of the natural language interface of specialized commands recognition of an intelligence control system the formalization of operations included in a command structure (Russian sentences) is produced.

Tab. 10. Ref.: 6 items.