

007(06)  
П 78

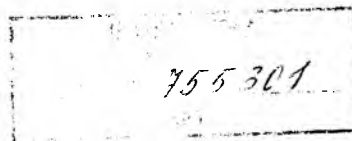
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

# **ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

Основан в 1968 г.

**ВЫПУСК 60**



Харків 2004

Харківський національний університет радіоелектроніки

УДК 519.7

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*. Рассматриваются: математика информационных процессов, программное обеспечение ЭВМ, базы данных, базы знаний и их представление, распознавание и анализ изображений, системы искусственного интеллекта, машинная лингвистика, нейросетевое моделирование, экспертные системы.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНИКИ ІНТЕЛЕКТУ*. Розглядаються: математика інформаційних процесів, програмне забезпечення ЕОМ, бази даних, бази знань та їх подання, розпізнавання та аналіз зображень, системи штучного інтелекту, машинна лінгвістика, нейромережеве моделювання, експертні системи.

Для викладачів вищих закладів освіти, науковців та фахівців.

The journal publishes articles on the *BIONICS OF INTELLIGENCE*. The topics considered are: mathematics of information processes, computer software, data bases, knowledge bases and their representation, recognition and image analysis, artificial intelligence systems, computer linguistics, neuronet modeling, expert 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. Винюк*, 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. Путьтин*, 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*

Свидетельство о госрегистрации  
№ КВ-4485 от 22.08.2000 г.

Рекомендовано Ученым советом  
Харьковского национального университета радиоэлектроники.  
Протокол № 3 от 28 мая 2004 г.

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

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

УДК 658.012.011.56

Н.С. ЛЕСНАЯ, С.В. ШТАНГЕЙ

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ  
СЕАНСА ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ****Введение**

*Постановка проблемы в общем виде.* Дистанционное образование (ДО) приобретает для Украины важное значение. Как показано в [1], данная задача в настоящее время полностью не решена: предлагаемые курсы ДО, информационные системы и технологии ДО являются лишь частными случаями решения. Поэтому моделирование процессов ДО и создание на основе данных моделей современных информационных технологий (ИТ) и информационных систем (ИС) является актуальной как в теоретическом, так и в практическом аспектах.

*Анализ последних достижений в области ДО.* Как показывает практика моделирования ИС и ИТ, любое решение в данной области должно быть экономически обоснованным. Это связано с тем, что подавляющее большинство существующих решений по автоматизации ДО не является свободно распространяемым и требует определенных капиталовложений. Кроме того, в процессе ДО также принимают участие преподаватели вузов, деятельность которых также описывается финансовыми показателями.

Анализ ДО как совокупности бизнес-процессов, которые могут быть описаны экономическими и экономико-техническими характеристиками, проведен в [2]. Как результат данного анализа в [2] была предложена визуальная модель – диаграмма вариантов использования и комплекс математических моделей, описывающих данные бизнес-процессы с точки зрения преподавателя и обучаемого.

*Выделение нерешенных ранее частей проблемы.* Одной из наиболее сложных проблем ДО является проблема оперативного учета и контроля процесса непосредственного обучения. Подобно большинству ИС оперативного учета, контроля и управления [3], подсистемы ИС, автоматизирующие процессы оперативного учета хода ДО, содержат минимальное количество функциональных задач. Это связано как с традиционными трудностями автоматизации задач оперативного управления, так и с трудностями учета индивидуальных особенностей обучаемого. Следует также отметить отсутствие единого подхода и утвержденной системы показателей, позволяющих оперативно учитывать и контролировать ход индивидуального сеанса обучения.

*Постановка задачи исследования.* В данной статье рассматривается комплекс математических моделей, описывающих бизнес-процесс проведения сеанса дистанционного образования. Здесь и в дальнейшем под сеансом обучения будем понимать процесс единоразового получения и усвоения обучаемым объема материала, определяемого преподавателем в соответствии с ограничениями, накладываемыми характеристиками обучаемого. Данные характеристики определены в [2] как элементы модели ДО с точки зрения обучаемого. При этом основное внимание в данной работе уделяется моделированию протокола проведения сеанса обучения как единственного источника информации о действительном ходе изучения обучаемым предложенного материала.

**Изложение основного материала исследования**

Процесс проведения сеанса ДО (далее – процесс С) можно описать как последовательность этапов генерации экземпляров математических моделей.

На первом этапе преподаватель принимает участие в подготовке и пересылке обучаемому материалов сеанса обучения. При этом преподаватель исходит из тех характеристик обучаемого и сеанса обучения, которые были определены ранее, а именно в процессе определения желаемых объемов материала, изучаемого за один сеанс [2]. Этот этап описывается моделью, которая имеет следующий вид:

$$DO_{об}(C_1) = [M_{ДО}^{np}(B_3), T_{ДО}^{об}(B_2), \min\{R_{ДО}(C)\}, \max\{R_{ДО}(C)\}, V_{ДО}(B), \min\{S_{ДО}(C)\}], \quad (1)$$

где  $DO_{ДО}(C_1)$  – математическая модель процесса  $C$  на первом этапе его осуществления

$M_{ДО}^{np}(B_3)$  – модель объема материала, изучаемого за один сеанс;

$T_{ДО}^{об}(B_2)$  – время, за которое обучаемый планирует осуществлять сеанс обучения;

$\min\{R_{ДО}(C)\}$  – минимальное значение дистанции между преподавателем и обучаемым в ходе осуществления процесса  $C$ , которое определяется преподавателем;

$\max\{R_{ДО}(C)\}$  – максимальное значение дистанции между преподавателем и обучаемым (с точки зрения обучаемого) в ходе осуществления процесса  $C$ , которое определяется обучаемым;

$V_{ДО}(B)$  – значение предполагаемой скорости передачи информации в ходе осуществления процесса  $C$ , которое определяется следующим образом:

$$V_{ДО}(B) = ((t_0), \dots, (t_i), \dots, (t_k)) / T_{ДО}^{об}(B_2); \quad (2)$$

где  $\min\{S_{ДО}(C)\}$  – минимальное значение пропускной способности канала связи в ходе осуществления процесса  $C$ , которое определяется преподавателем;

$\max\{S_{ДО}(C)\}$  – максимальное значение пропускной способности канала связи в ходе осуществления процесса  $C$ , которое определяется обучаемым.

На втором этапе обучаемый принимает предложенный ему материал для обучения и осуществляет сеанс обучения. В ходе сеанса устанавливаются истинные значения (естественно, для данного сеанса обучения) характеристик обучаемого и проводится уточнение элементов модели (1). Эти уточнения учитываются протоколом проведения сеанса обучения, который может быть описан математической моделью вида

$$DO_{об}(C_2) = [M_{ДО}^{об}(B_3), T_{ДО}^{об}(C_2), \{R_{ДО}(C_2)\}, V_{ДО}(C_2)], \quad (3)$$

где  $DO_{об}(C_2)$  – математическая модель протокола проведения сеанса обучения;

$T_{ДО}^{об}(C_2)$  – время, за которое проводится сеанс обучения; данный показатель определяется следующим образом:

$$T_{ДО}^{об}(C_2) = t_e - t_b, \quad (4)$$

где  $t_e$  – время окончания сеанса обучения;  $t_b$  – время начала сеанса обучения;

$R_{ДО}(C_2)$  – расстояние между преподавателем и обучаемым во время проведения сеанса обучения;

$V_{ДО}(C_2)$  – значение реальной скорости передачи информации в ходе осуществления сеанса обучения.

Особое внимание в протоколе сеанса обучения следует уделить учету временных характеристик обучаемого. Это связано с тем, что сеанс обучения с использованием современных ИС и ИТ представляет собой совокупность элементарных блоков изучаемой дисциплины ДО [1]. Преподаватель же до самого момента осуществления сеанса обучения не может проверить справедливость того значения характеристики  $T_{ДО}^{об}(B_2)$ , которое обучаемый определя-

ет еще при выполнении процесса определения желаемых объемов материала, изучаемого за один сеанс. Кроме того, важным фактором является равномерность смысловой нагрузки на обучаемого [4], что требует равномерного распределения материала для обучения между сеансами. Поэтому детализированную модель протокола сеанса обучения следует представить таким образом:

$$DO_{об}(C_2) = [M_{ДО}^{об}(B_3), R_{ДО}(C_2), V_{ДО}(C_2), [H'_{js}], \{t_b^s\}, \{t_e^s\}, Mor([Z'_{ijs}]), Mor([Y'_{kjs}])], \quad (5)$$

где  $[H'_{js}]$  – упорядоченное множество названий (идентификаторов) элементарных блоков материала для изучения, входящих в данный сеанс;

$\{t_b^s\}$  – упорядоченное множество значений показателя времени начала изучения элементарного блока материала для обучения, входящего в проводимый сеанс, которое в общем случае имеет следующий вид:

$$\{t_b^s\} = \{t_b^1, t_b^2, \dots, t_b^w\}, \quad (6)$$

где  $w$  – количество элементарных блоков материала для изучения в дисциплине ДО;

$\{t_e^s\}$  – упорядоченное множество значений показателя времени окончания изучения элементарного блока материала для обучения, входящего в проводимый сеанс, которое в общем случае имеет следующий вид:

$$\{t_e^s\} = \{t_e^1, t_e^2, \dots, t_e^w\}, \quad (7)$$

где  $Mor([Z'_{ijs}])$  – матрица, описывающая осуществление последовательности переходов между изучением элементарных блоков знаний данного сеанса обучения;

$Mor([Y'_{kjs}])$  – матрица, описывающая осуществление последовательности переходов между изучением элементарных блоков умений данного сеанса обучения.

На третьем этапе сформированный протокол пересылается преподавателю для последующей коррекции модели процесса определения желаемых объемов материала, изучаемого за один сеанс. Данная коррекция проводится как формирование нового экземпляра модели данного процесса с учетом проведенных сеансов обучения. При этом уточняется длительность сеанса обучения, а также смысловая нагрузка на обучаемого. Полученный результат используется для организации следующего сеанса обучения.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Основываясь на предложенных математических моделях проведения сеанса ДО становится возможным создание информационно-аналитической системы ДО, которая учитывала бы индивидуальные особенности каждого обучаемого, проявляемые в ходе изучения дисциплины ДО. В качестве перспектив дальнейших исследований следует указать такие направления:

– разработка дополнительных информационных, технических и экономико-технических показателей, которые более качественно характеризуют процессы ДО с точки зрения всех заинтересованных сторон;

– разработка математических моделей процессов генерации совокупности тестовых заданий, которая учитывала бы индивидуальные особенности, проявленные обучаемым в ходе сеанса ДО;

– разработка математических моделей оценивания усвоенных обучаемым знаний и умений.

Особо следует выделить проблему документирования процесса проведения сеанса ДО. Следует отметить, что использование традиционных для высшей школы Украины образцов документов в данном случае нецелесообразно. Поэтому исследование способов формирования и придания юридической силы документации о проведении сеансов ДО и различных видов тестирования обучаемого следует признать перспективным с практической точки зрения.

**Литература:** 1. Черников А. «Очевидные» успехи дистанционного образования // Компьютерное обозрение. 2003. № 31-32. С. 40-41. 2. Штангей С.В. Бизнес-моделирование дистанционного образования с использованием современных информационных технологий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. Харьков: НАКУ «ХАИ», 2003. Вып. 21. С. 119-126. 3. Мамиконов А.Г. Основы построения АСУ. М.: Высшая школа, 1981. 248 с. 4. Лесная Н.С., Штангей С.В. Математическое представление процессов формирования и анализа смысловой модели изучаемой дисциплины // Системный анализ управления и информационные технологии: Вестник НТУ «ХПИ». 2003. №18. С. 69-74.

*Поступила в редколлегию 19.03.2004*

УДК 681.518:004.912

М.Ф. БОНДАРЕНКО, А.Л. ЄРОХІН

**ПРО МОДЕЛІ ПОЗАШТАТНОЇ ПОВЕДІНКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ****Вступ**

Системи штучного інтелекту (ШІ) пережили пік інтересу до них у 80-90-і роки минулого століття. Зв'язано це було, насамперед, з успіхами фізики й обчислювальної техніки. При цьому в ті роки великі надії покладалися на біонічні принципи устрою систем штучного інтелекту (СШІ). На цьому шляху досягнуто багато успіхів: розробки в області мов представлення знань, експертних систем, природно-мовних інтерфейсів і так далі. Однак дослідження в галузі ідентифікації функцій інтелекту розпаралелилися між багатьма науковими школами.

Якщо під інтелектом розуміти внутрішнє перетворення відображення ситуації, що веде до досягнення поставленої мети [1], то тоді під штучним інтелектом варто розуміти штучну реалізацію якою-небудь системою такого перетворення. На сьогоднішній день можна виділити два підходи в розробках зі штучного інтелекту.

Перший підхід використовує механістичні моделі інтелекту, такі як, модульність побудови пам'яті, розподіл на системи представлення знань і систему планування дій, відділення робочої (оперативної) пам'яті від довгострокової (постійної) [2]. Даний підхід дуже добре реалізовано у вигляді різних формальних теорій і реальних технічних систем. Але наразі подібні механістичні аналогії залишаються актуальними лише в контексті використання інструменту для фізичного моделювання інтелекту у вигляді традиційної (процедурної, фонейманівської) обчислювальної машини.

Наукові школи, що використовують другий підхід, розуміючи відому ортогональність інтелекту людини і функцій комп'ютера, пішли шляхом філолофсько-психологічного осмислення функцій інтелекту, пошуку аналогій і шляхів побудови моделей інтелекту [3] на основі психофізіологічних моделей. Однак реалізацій такого підходу у вигляді діючих систем штучного інтелекту до цього часу немає.

Деяке протистояння цих двох напрямків нагадує відому суперечку між фізиками і ліриками. Перші апелюють до практичних результатів, (хоч і не зовсім адекватних працюючим моделям інтелекту), другі критикують механістичний підхід. Перші кроки в напрямку один до одного наукових підходів уже зроблені. Свідченням тому може служити поява і розвиток нових синтетичних наук, а точніше методологій, (наприклад, синергетики), що використовують методи інших наук для вирішення тих задач, що окремими науками не вирішувалися внаслідок аналогічних "ортогональних" проблем.

Таким чином, важливим на сьогодні напрямком в галузі удосконалення теорії і створення систем і засобів ШІ є розробка напрямку, що дозволяє зменшити ортогональність між двома напрямками шляхом розробки нових формальних моделей, що враховують останні досягнення психофізіології. Це дозволить створити системи і засоби штучного інтелекту нового покоління.

**1 Постановка задач дослідження**

Незважаючи на наявні роботи в напрямку зближення вказаних вище двох ортогональних підходів [1-11], невирішеними залишаються наступні важливі питання:

- 1) розробка концепції і формального апарату, що реалізує функції прийняття рішень у позаштатній ситуації (варіативне поведіння інтелектуальної системи);
- 2) розробка нових моделей інтелекту, що реалізують реактивні функції (зокрема, функція уваги).

При розробці першого напрямку за відправну точку було взято висновок про те, що всякий стійкий стан системи є тимчасовим станом системи, а абсолютна стійкість є абстракцією. Нормальним (з погляду розвитку системи) слід вважати стан нестійкості.

Актуальність теоретичних і прикладних досліджень взаємодій хаотичних процесів із СШ визначаються:

- постійним ускладненням СШ;
- включенням у інтелектуальну систему суб'єкта, що приймає рішення, з урахуванням системи його психофізіологічного стану (СПФС);
- недооцінкою фундаментальною і прикладною науками ролі випадкових взаємодій в еволюції СШ, СПР і СПФС.

Вивчення взаємодій хаотичних процесів і складноорганізованих інтелектуальних систем дають можливість забезпечити оптимальність функціонування таких систем у полі впливів стохастичних факторів, знизити імовірність прийняття помилкових рішень.

До складноорганізованих інтелектуальних систем можна віднести, зокрема, системи, у яких можна виділити мережну архітектуру і канали для транспорту цільового продукту. Не претендуючи на повноту, надамо класифікацію складноорганізованих систем за видом цільового продукту, що доставляється. Виділимо наступні складноорганізовані системи (СОС):

- інженерні мережі (цільовий продукт - вода, газ, нафтопродукти і тому подібне);
- електричні мережі (електрична енергія);
- комп'ютерні мережі (інформація у вигляді електричних імпульсів) і так далі.

У таких мережах завжди можна виділити канали для доставки цільового продукту. Особливістю каналізованих систем і їхніх моделей є наявність каналів, що утворюють множину входів-виходів, які можуть бути визначені у системі за типами і структурами зв'язків-відносин між підсистемами.

Канали можна підрозділити на системні (СК), що складаються з множин елементарних каналів (ЕК). Еволюція системи  $S$  у багатомірному фазовому просторі характеризується множиною змін у системі параметрів їхніх входів-виходів  $A, B$ , які подаються їх декартовим добутком підмножин

$$S \subset A \times B, \quad (1)$$

де підмножина  $A = \times \{V_i : i \in I_A\}$  - вхідний об'єкт;

$B = \times \{V_i : i \in I_B\}$  - вихідний об'єкт системи  $S$ .

Усі ЕК утворюють множини їхніх входів  $a_i \in A$  і виходів  $b_j \in B$ , що мають властивості:

- 1) дискретності лічильних множин  $a_i \in A$  і  $b_j \in B$  в СК;
- 2) взаємної спряженості входів-виходів  $a_i \in A$  і  $b_j \in B$  для кожного ЕК  $(w_{ij})$ , з чого

впливає ізоморфізм і тотожність відображень  $a_i \leftrightarrow b_j$ ;

- 3) інформаційної незалежності ЕК  $w_i \cap w_j = 0$ , тобто  $a_i \cap a_j = 0$  і  $b_i \cap b_j = 0$ .

З властивостей 1-3 випливає, що для каналізованих систем дискретні підмножини входів-виходів задані, наприклад, на двомірних метричних  $M^2$  просторах, подаються об'єднаннями своїх елементів

$$W = \bigcup_{f \in M^2} w_f, \quad A = \bigcup_{f \in M^2} a_f, \quad B = \bigcup_{f \in M^2} b_f. \quad (2)$$

Головною функцією будь-якої СОС є забезпечення безперебійної доставки цільового продукту з одного вузла мережі до іншого. Виконання головної функції забезпечується вирішенням задач:

- планування і управління потокорозподілом у СОС у штатних режимах роботи;
- управління в позаштатних режимах (перехідних, передаварійних, аварійних, післяаварійних).

На сьогоднішній день питання моделювання потокорозподілу в інженерних і електричних мережах у штатних режимах досить добре досліджені. Основні складнощі виникають під час моделювання перехідних і аварійних режимів. Існуючі інтелектуальні системи орієнтовані на наявність штатного режиму, штатної ситуації, стану стабільності. Цей факт робить неможливим створення адекватних моделей поведінки СШІ у позаштатній ситуації. У природньо-інтелектуальній системі, де рішення приймає тільки людина, її психофізіологічний стан є змінним і, більш того, нестабільним, тобто таким, котрий намагається вивести всю систему з рівноваги. Необхідність врахування ПФС призводить до необхідності вибирати інші відправні точки при розробці нових СШІ.

Тому актуальною задачею є розробка формальної теорії позаштатних ситуацій у вигляді алгебри позаштатні ситуації (АНС). Розробка АНС складається з етапів:

- 1) розробка аксіоматики АНС, розробка і дослідження основних правил АНС;
- 2) розробка і дослідження моделей позаштатних ситуацій на основі АНС;
- 3) розробка алгоритмічного забезпечення для інтелектуальних систем прийняття рішень у позаштатних ситуаціях в СОС.

Для вирішення задач необхідно також створити та дослідити моделі порушень в СОС та засоби розпізнавання нештатних ситуацій.

## 2 Розв'язування задач

### 2.1 Дослідження моделей порушень в роботі СОС

**СОС, як і будь-яка система, характеризується множиною вхідних і вихідних параметрів. Вхідні параметри розділяються на керуючі впливи і зовнішні стохастичні впливи і, у загальному вигляді, управління характеризується вектором стану**

$$V(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_u), \quad (3)$$

де  $\varphi$ ,  $\mu$  і  $\lambda$  – параметри виходу, управління і зовнішніх сил відповідно.

СОС має властивості дискретності, безперервності і стохастичності, і однією з цілей управління СОС є її адаптація до зовнішніх стохастичних впливів. При цьому локальні або множинні порушення внутрішньосистемної стабільності СОС, що перевищують її адаптаційні можливості, можуть розглядатися як поява в ній нестандартної або аварійної ситуації. Тому додатковою метою СОС є здатність розпізнавати нестандартну ситуацію й оперативно вибирати можливий сценарій її усунення. Звідси СОС повинна вирішувати, як мінімум, дві задачі, що необхідні для збереження головної функції. Перша – це забезпечення внутрішньосистемної стабільності шляхом адаптації до стохастичних впливів, інтенсивність яких не перевищує заданих значень. Друга задача - розпізнавання образів нестандартної або аварійної ситуацій.

Розглянемо помилки, що виникають в СОС під час дії зовнішніх впливів. За їхньою локалізацією у функціональних або обслуговуючих підсистемах вони можуть бути розділені на три групи:

- 1) технічні помилки, які виникають у підсистемах технічного, інформаційного і програмного забезпечення і поява інформаційної невизначеності;
- 2) помилки управління, які виникають у функціональних підсистемах управління, а також поява інформаційної невизначеності;
- 3) помилки управління, які допускає людина-оператор внаслідок зміни її психофізіологічного стану.

Оскільки причинами виникнення помилок третьої групи є зміна ПФС, то розробка нових методів мінімізації цих помилок можлива при дослідженнях механізмів взаємодій стохастичних впливів зовнішньої і внутрішньої природи з людиною-оператором, динаміки зміни її когнітивних функцій і динаміки релаксації її ПФС. Для людини-оператора можна виділити кілька причин переходу ПФС зі стійкого стану в нестійкий: невідповідність між психологіч-

ним статусом (психологічним портретом) людини-оператора і її професійною діяльністю; невизначеність інформаційного стану людини-оператора; зниження когнітивних (базових операторських) функцій людини-оператора в полі впливу стресору.

Невизначеність інформаційних станів людини-оператора є об'єктивною причиною, що може бути мінімізована при вдосконаленні методів розпізнавання самої СОС. Механізмами зниження когнітивних функцій людини-оператора є впливи стресорів, що викликають розвиток стресу монотонії. Однак сама постановка задачі мінімізації зіштовхується з більш складними психофізіологічними процесами, що визначаються не тільки множинністю факторів зміни ПФС, але і незворотністю процесів у біосистемах. Для рішення задачі мінімізації переходу ПФС людини-оператора у нестійкий стан необхідно розробити модель взаємодії формалізованої метастійкої системи ПФС і зовнішніх стохастичних впливів.

## 2.2 Моделі психофізіологічного стану людини-оператора

Існує кілька підходів до розробки моделі людини-оператора в СОС. Перший підхід припускає дослідження системи психофізіологічних станів ПФС людини-оператора, формалізацію такої системи шляхом побудови множини припустимих інтегральних коефіцієнтів впливу:

$$\psi = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}, \quad (4)$$

де  $k_i$  – інтегральний коефіцієнт, що враховує один ПФС;  $n$  – кількість психофізіологічних станів людини-оператора.

Інтегральний коефіцієнт  $k$  складається з урахуванням предметної області, оскільки для різного роду діяльності людини-оператора можуть бути важливими ті або інші параметри, що складають загальне ПФС. Наприклад, для диспетчера аеропорту найважливішими параметром ПФС вважається швидкість реакції зорового і слухового аналізатора. Для диспетчера ж електроенергетичної системи найбільш важливим параметром ПФС можна вважати саме не швидкість реакції, а розсіяну увагу, оскільки йому приходится спостерігати за інформаційними екранами з великою кількістю інформаційних точок. Протягом одного сеансу роботи (одна робоча зміна, бойове чергування і т.п.) людина-оператор змінює свій ПФС. Якщо вести періодичний контроль за ПФС, то можна ідентифікувати поточний ПФС. Тоді ідентифікація поточного чи миттєвого значення ПФС буде зводитись до вибору такого  $k_i$ , що найбільш близький до інтегрального коефіцієнта ПФС і погоджується з заданою функцією приналежності.

Залишається установити характер залежності між частотою контролю за ПФС і якістю прийнятого рішення (рівень погодженості рішення із середньостатистичним рішенням для даної події в системі). Така модель є в більшій мері емпіричною і вимагає постійної корекції коефіцієнтів при її застосуванні в режимі реального часу. Таким чином, корекцію можна проводити на наступних етапах:

1) первинне настроювання моделі системи ПФС. Проводиться шляхом вхідного тестування людини-оператора перед початком сеансу роботи. На цьому етапі будується система ПФС і перевіряється ступінь збігу з попередніми системами ПФС для даної людини-оператора. Вхідний тест може використовуватися як тренінг людини-оператора, а також як допуск до роботи;

2) періодичне підстроювання моделі системи ПФС для ідентифікації поточного значення ПФС. Здійснюється шляхом вибору коефіцієнта з побудованої на першому етапі множини.

Найбільш важливими психологічними функціями суб'єкта, що приймає рішення, є когнітивні функції уваги, на які сильний вплив здійснюють сторонні стресори, перш за все - стрес монотонії [12]. В існуючих інтелектуальних системах відсутні ті психофізіологічні особливості, що характерні для людини-оператора, а саме у них не виявляється стрес монотонії. Це призводить до неможливості одержати адекватну модель СПФС. Оскільки поля-

ним стресові монотонії можна вважати функцію уваги, то саме моделювання функції уваги є важливим. Це пов'язано зі зменшенням надмірності візуальної інформації, що підлягає аналізу послідовними механізмами обробки. Реалізація формалізованої моделі когнітивної функції уваги необхідна СШ для прогнозу нестандартних або аварійних ситуацій, локалізованих в актуальному зоровому полі системи. Модель функції уваги в СШ, яка заснована на оцінці фактора несподіванки, докладно розглянуто в [12].

### 2.3 Розробка формальної моделі СОС під час нештатної ситуації

Розглянемо СОС, яка змінюється в межах деякої  $n$ -мірної системи базових векторів, що утворюють ядро зв'язків-відносин між підсистемами і параметрів входу-виходу. Базові вектори системи відносин багатомірного простору зв'язують у єдине ціле різні класи параметрів входів-виходів, заданих у метричному, векторному, топологічному, логічному, семантичному і вербальному просторах. Стан стабільності ядра ( $S_0$ ) формалізованої СОС з нульовими флуктуаціями  $\varphi = 0$  параметрів входу-виходу подається точкою початку координат багатомірного простору («нуль»-система):

$$(S_0) = \{S_m^\varphi, S_v^\varphi, S_l^\varphi, \dots\} \quad (5)$$

Після надання ядру системи флуктуацій параметрів входу-виходу одержимо:

$$(\bar{S}_i) \subseteq \sup_j \left\{ (S_0) \cup [S_m]^{\varphi_i}, [S_v]^{\varphi_k}, [S_l]^{\varphi_g}, \dots \right\} \quad (6)$$

Замикання (6) можуть розглядатися як топологічне різноманіття відкритих множин, що утворюють у  $n$ -мірному просторі відкриту багатомірну кулю або багатогранник. Таким чином, множина граничних траєкторій динамічної системи детермінована замиканням (6) або поверхнею багатомірної кулі. У кожному  $(m - \kappa)$ -мірному перетині по  $k$  – базових координатах множина динамічних процесів може бути подана детермінованими хаотичними процесами. При цьому хаотичні процеси відображаються на кожному  $(m - \kappa)$ -мірному перетині багатомірної кулі. Кожен із перетинів у загальному вигляді може розглядатися як фазовий простір, обмежений власними замиканнями і заповнюваний множиною траєкторій розвитку цих процесів. Внутрішність  $n$ -мірної кулі є спектром реалізованих і нереалізованих станів стійкої СОС.

Розглянемо питання, пов'язане з поведінкою багатомірної кулі стійкості системи з урахуванням критеріїв важливості впливу тих чи інших флуктуацій на можливу поведінку СОС у майбутніх конфліктах типу “система-навколишнє середовище”, “система-людина”, “система-внутрішнє середовище”. Для цього розглянемо модель багатопараметричної каналізованої СОС. Введемо скінченний предикат

$$P(b_{kl}) = f_{kl}^{b_{kl}}; \quad P(b_{kl}) = 1 \forall (kl) = (kl), \quad (7)$$

де для всіх параметрів  $(kl)$  відповідні фрагменти функції залишаються усередині або поза багатомірною кулю або її перетином.

Вважаємо, що для кожного з  $(kl)$  параметрів, що виходять за межі замикання (2), предикат (3) набуває нульового значення  $\exists (kl) \rightarrow P(b_{kl}) = 0$ . Тоді для відносно стійкого стану значення предиката – одиничне. У загальному вигляді двомірна матриця, складена з відповідних предикатних змінних параметрів, що залишилися всередині багатомірної кулі або вийшли за межі її замикань, буде складатися з одиничних і нульових елементів.

Згодом число флуктуацій параметрів, що вийшли за межі замикання багатомірної кулі, збільшується, і число нульових значень предикатів також збільшується. Облік структури припускає нерівноцінність кожного з параметрів, що визначається різними ваговими характеристиками.

## 2.4 Розробка засобів розпізнавання нештатних ситуацій в СОС

Для надійної реєстрації та подальшої класифікації нештатної події в СОС пропонується апарат, заснований на алгебрі скінчених предикатів [4]. Кожен СК має скінченне число утворюючих його ЕК, що на вході і виході утворюють структуру фіксованих і упорядкованих елементів. Упорядкованість взаємних положень елементів  $(a_{kl}), (b_{ij})$  визначається декартовим добутком пар чисел  $(k \times l), (i \times j)$  щодо локальних систем координат. Для матриці  $A$  локальна система координат це - ортогональні осі

$$a_{1j} \text{ для усіх } i=1,2,\dots,n \text{ і } a_{i1} \text{ для усіх } j=1,2,\dots,m \quad (8)$$

з початком координат в елементі  $a_{11}$ . Відповідно для матриці  $B$  координатні осі будуть

$$b_{1l} \text{ для } l=1,2,\dots,n \text{ і } b_{k1} \text{ для } k=1,2,\dots,m \quad (9)$$

з початком координат в  $b_{11}$ .

Прообраз вхідної інформації подамо як функцію нових координат  $(a_{kl})$ , віднесених до власної локальної системи (8):

$$F'(x, y) \supset f_{kl}(x, y) \equiv f'(w_{kl}) \equiv f'(a_{kl}) \in (A), \quad (10)$$

$$K_1: F(x, y) \approx F'(x, y) \equiv \bigcup_{a_{kl} \in A} f(a_{kl}), \quad (11)$$

де  $K_1$  - оператор перетворень інформації вхідної інформації про параметри режимів СОС.

Подамо прообраз у вигляді системи скінчених предикатів  $\left( a_{ij}^{f_{ij}} \right)$  з елементами розкладання за рядком системи координат (8):

$$F'_A(x, y) = \bigcup_{i=1}^m \left( a_{i1}^{f'_{i1}} \vee a_{i2}^{f'_{i2}} \vee \dots \vee a_{in}^{f'_{in}} \right). \quad (12)$$

Аналогічно для розкладання за стовпчиками в цій же системі координат –

$$F'_A(x, y) = \bigcup_{j=1}^n \left( a_{1j}^{f'_{1j}} \vee a_{2j}^{f'_{2j}} \vee \dots \vee a_{nj}^{f'_{nj}} \right). \quad (13)$$

Введемо предикат  $P(f_{ij}) = (a_{ij}^{f_{ij}})$  впізнавання порушення регулярності змінної  $(f_{ij})$ , заданої за константою  $(a_{ij})$ . За умови збігу координат  $(i, j)$  положень змінної і константи в матриці маємо предикат

$$P(f_{ij}) = (a_{ij}^{f_{ij}}) = 1 \text{ для } \forall (f_{ij}) \in F(x, y). \quad (14)$$

При розбіжності координат змінної  $(f_{kl})$  зі сталою  $(a_{ij})$  маємо предикат

$$P(f_{kl}) = (a_{ij}^{f_{kl}}) = 0 \text{ для } \forall (f_{kl}) \in F(x, y). \quad (15)$$

Визначимо області існування предикатів (12) та (13) як

$$\exists f_{ij} P(f_{ij}) = \bigvee_{(f_{ij}) \in M^2} * P(f_{ij}). \quad (16)$$

Тоді для кожного СК виконується умова фіксації елементів  $(a_{ij})$ , на  $(A)$  завжди виконується умова (14) і тоді областю існування систем предикатів для входу буде вся матриця одиничних елементів:

$$\exists(A) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Фіксація  $(a_{ij}) \in (A)$ , а також (16) та (17) дозволяють зробити висновок про те, що сама множина  $(A)$  є інваріантною системою предикатів, яка не змінюється під час лінійних перетворень щодо базової системи координат. Для входу  $(A)$  завжди виконується умова (14) і областю існування будь-якої  $F(x, y)$ , заданої на області  $M^2 = \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \right]$ , є вся матриця

$(A)$ . Це пояснюється тим, що при будь-яких афінних перетвореннях локальної системи (8) або базової системи координат за допомогою (10) та (11) ці системи з точністю до елемента можуть бути сполучені між собою без порушення упорядкованості.

Покажемо, що правило інваріантності системи входу виконується завжди. Для цього виберемо тепер як вхід множину  $(B)$  у локальній системі координат (9) і на ній будемо відображати вихідну інформацію  $F(x, y)$ . Прообраз  $F_B'(x, y)$  розкладемо по рядково на дискретні елементи зі скінчених предикатів:

$$F(x, y) \approx F_B'(x, y) = \bigcup_{i=1}^m (b_{i1}^{f_{i1}} \vee b_{i2}^{f_{i2}} \vee \dots \vee b_{im}^{f_{im}}). \quad (18)$$

Аналогічно за умови збігу координат  $(i, j)$  елементів предиката впізнавання маємо

$$P(f'_{ij}) = (b_{ij}^{f'_{ij}}) = 1, \quad (19)$$

при розбіжності координат  $(i, j) \neq (k, l)$  -

$$P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f'_{ij}}) = 0. \quad (20)$$

Квантор існування для предикатів (18) має вигляд

$$\exists f'_{ij} P(f'_{ij}) = \bigvee_{(f'_{ij}) \in M^2} * P(f'_{ij}). \quad (21)$$

У логічному просторі  $L^2$  скінчених предикатів прообраз  $F'(x, y)$  може бути поданий у вигляді

$$F_B'(x, y) = \bigvee_{(f'_{ij}) \in M^2} * (b_{kl}^{f'_{kl}}). \quad (22)$$

Змінна  $f'_{kl}$  покоординатно збігається з константами  $b_{kl}$ . На підставі (20) можна стверджувати, що областю існування систем предикатів на множині  $(B)$  також буде вся область  $M^2$ . Якщо матриця  $(B)$  обрана як вхід квантора існування, то

$$\Xi_{(B)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (23)$$

тобто матриця  $(B)$  є інваріантом.

Розглянемо оператор  $K_2$  передачі фрагментів прообразів інформації з входу  $(A)$  на вихід  $(B)$ .

$$\bigcup_{i,j \in M_{(A)}} f'_{ij}(x,y) \rightarrow \bigcup_{k,l \in M_{(B)}} f^*_{kl}(x,y) \cong \bigcup_{i,j \in M_{(A)}} f'(w_{ij}) \rightarrow \bigcup_{kl \in M_{(B)}} f^*(w_{kl}) \quad (24)$$

Якщо на усьому  $M^2$  для елементів  $a_{ij} \in (A)$  і  $b_{kl} \in (B)$  виконуються відповідно умови (14) і (19), то можна стверджувати, що оператор  $K_2$  не порушує умови упорядкованості при передачі фрагмента інформації з інформаційних каналів  $(w_{ij})$ .

З урахуванням принципу спряженості вираз (22) може бути представлений у вигляді

$$\bigcup_{i,j \in M_{(A)}^2} f'(w_{ij}) \stackrel{K_2}{\leftrightarrow} \bigcup_{K_2^{-1} k,l \in M_{(B)}^2} f^*(w_{kl}), \quad (25)$$

при цьому  $K_2^{-1} \times K_2 = 1$ .

Визначимо відносини між елементами входу-виходу за умови, що при перетворенні  $K_2$  відбувається порушення упорядкованості сполучених елементів, тобто можна стверджувати, що локальні системи координат (8)-(9) нееквівалентні одне одному і не можуть за допомогою афінних перетворень бути сполучені. Іншими словами, в системі передачі інформації в СК існує перетворення перестановок і квантор існування (22) буде складений зі скінченного числа одиниць і нулів.

На основі принципів інформаційної незалежності і спряженості подамо відношення між входом і виходом у вигляді:

$$K_2 : (A) \rightarrow (B) \quad K_2^{-1} : (A) \leftarrow (B) \quad (26)$$

$$i \quad (k_{ij}) \in K_2 : (a_{ij}) \leftrightarrow (b_{ij}) \Rightarrow a_{ij}^{f_{ij}} \leftrightarrow b_{ij}^{f_{ij}}. \quad (27)$$

Введемо нову предикатну змінну  $P(b_{ij}) = a_{ij}^{b_{ij}}$  відповідності умові регулярності, що логічно зв'яже між собою елементи входу зі сполученими з ними елементами виходу. При цьому збіг координатних пар чисел  $(i, j)$  визначає рівність предиката одиниці

$$P(b_{ij}) = 1, \quad (28)$$

а при розбіжності  $(i, j) \neq (k, l)$  –

$$P(b_{ij}) = 0. \quad (29)$$

Матриця предикатних змінних визначає взаємну відповідність (або невідповідність) елементів входу-виходу:

$$\begin{bmatrix} P(b_{11}) & P(b_{12}) & \dots & P(b_{1n}) \\ P(b_{21}) & P(b_{22}) & \dots & P(b_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(b_{m1}) & P(b_{m2}) & \dots & P(b_{mn}) \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Розглянемо випадок, коли усі  $P(f'_{ij}) = (b_{ij}^{f'_{ij}}) = 1$ . У силу принципу спряженості між відповідними елементами входу-виходу будемо мати дві еквівалентні системи скінчених предикатів за умови збігу їхніх локальних систем координат:

$$\bigcup_{i=1}^m \left( \bigvee_{j=1}^n a_{ij}^{f'_{ij}} \right) \approx \bigcup_{i=1}^m \left( \bigvee_{j=1}^n b_{ij}^{f'_{ij}} \right). \quad (31)$$

Якщо для всіх елементів входу-виходу СК виконується зазначена умова, то матриця (30) є матрицею з одних одиниць, у цьому випадку ми маємо модель СК, що адекватно передає інформацію зі свого входу на вихід. При цьому сформований образ з точністю до ізоморфного елемента адекватний прообразові  $F'(x, y) \approx F^*(x, y) \approx F(x, y)$ .

Розглянемо випадок, коли усі  $P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f'_{ij}}) = 0$ . З (26) маємо  $a_{ij}^{f'_{ij}} \leftrightarrow b_{kl}^{f'_{ij}}$ , при фіксованих у системі координат (8)-(9) константах  $a_{ij}$  і  $b_{kl}$  відповідно впливає, що для того самого фрагмента  $f'_{ij}$  його локалізації на вході і виході різні. У системі координат (9) на (B) маємо впорядковану множину (30) нульових елементів:

$$\exists b_{kl} P(b_{kl}) = \bigvee_{(b_{kl}) \in M^2} [P(b_{kl} \equiv 0)]. \quad (32)$$

Таким чином, якщо для усіх  $(b_{kl}) \in B$  виконується умова  $P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f'_{ij}}) = 0$ , то матриця (30) містить тільки нульові елементи і жоден з елементів, що складають предикатну змінну  $(a_{ij}^{f'_{ij}})$  входу й упорядковані у локальній системі координат (8), не збігається з жодним з елементів виходу  $(b_{kl}^{f'_{ij}})$  в цій же системі.

На матриці (B) зазначений фрагмент  $f'_{kl}$  на своєму носії  $b_{kl}$  може зайняти кожне з положень. При цьому для всіх  $b_{ij} = a_{ij}$  предикат  $P(b_{ij}) = 1$  і відповідні фрагменти прообразів і образів еквівалентні вихідній інформації:

$$f(x, y) \approx f'(a_{ij}) \equiv f^*(b_{ij}). \quad (33)$$

Для всіх незбіжних покоординатно елементів  $b_{kl} \neq a_{ij}$  відповідний предикат  $P(b_{kl}) = 0$ , і між фрагментами прообраз-образ у системі координат (8) адекватність буде порушена:

$$f(x, y) \approx f'(a_{ij}) \neq f^*(b_{kl}). \quad (34)$$

У загальному вигляді область існування системи предикатів (18) буде мати вигляд

$$\exists b_{ij} P(b_{ij}) = \bigvee_{(b) \in M^2} P(b_{ij}) = \bigvee_{(b) \in M^2} \left[ \begin{matrix} P(b_{ij}) \equiv 1 \\ P(b_{kl}) \equiv 0 \end{matrix} \right], \quad (35)$$

і логічна матриця, що характеризує квантор існування предикатів, буде складена з деякого числа одиниць і нулів, що займають відповідні позиції в матриці (23). Як логічна матриця

(17), обумовлена квантором існування (16), так і область існування (35) визначає інваріантність матриці

$$\Xi(B) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (36)$$

Вирази (35) та (36) є перетвореннями підстановок. При подальшому аналізі властивостей перетворень підстановок керуємося властивістю інваріантності зазначених матриць.

### 3 Практична реалізація моделей

Розроблені моделі використані для практичної реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень управління під час аварійних ситуацій в мережах електропостачання [13,14].

### Висновки

1. Сформульовано концепцію розробки та використання алгебри нештатних ситуацій для створення інтелектуальних систем управління під час нештатних ситуацій в каналізованих складноорганізованих системах.
2. Запропоновано формальну модель системного каналу для розробки інформаційних моніторингових систем.
3. Запропоновано апарат для реєстрації та розпізнавання нештатної події в СШ.
4. Розроблені моделі легко адаптуються до будь-якої системи каналізованого типу за умови наявності відповідних датчиків та вимірювальних перетворювачів параметрів транспортування цільового продукту.

**Список літератури:** 1. Соколов Е.Н. Искусственный интеллект: элементы и структуры // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. С.111-119. 2. Вайнцвайг М.Н., Полякова М.П. Механизм мышления и моделирование его работы в реальном времени // Там же. С.208-229. 3. Величковский Б.М., Катица М.С. Психологические проблемы изучения интеллекта // Там же. С.120-141. 4. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Харьков: Вища школа, 1987. 159 с. 5. Рішення №97041659 про видачу патенту на винахід. Україна. МПК 6 Н03М 3/00. Спосіб кодування звуку / М.Ф.Бондаренко, А.Л.Єрохін, В.А.Чікіна, Ю.П.Шабанов-Кушнарченко. Заявл. 08.04.97; Опубл.19.03.98. 6. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Теория цветового зрения: Монография. Харьков: ХНУРЕ, 2002. 208 с. 7. Искусственный интеллект: В 3 кн.: Справочник / Под ред. Э.В.Попова, Д.А.Поспелова, В.Н.Захарова, В.Ф.Хорошевского. М.: Радио и связь, 1990. Кн.1,2,3. 8. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту. Харків: Фактор-Друк, 2003. 336 с. 9. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. 320 с. 10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. 384 с. 11. Махталір В.П. Точково-множинні методи обробки і розпізнавання зображень: Автореф. дис... д-ра техн. наук / Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2002. 32 с. 12. Єрохін А.Л., Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл.Н. Моделирование когнитивной функции внимания в системе технического зрения // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып.58. С.126-130. 13. Ye.V.Biletskiy, O.O.Biletska, V.A.Chikina and A.L.Yerokhin. Emergency Event Signal Coding for Decision Support in Electrical Systems Control // The 2002 International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE'02: Las Vegas, USA, 2002) P.510-512. 14. Проектирование систем электроснабжения: Уч. пособие / О.Г.Гриб, А.Л.Ерохин, Г.А.Сендерович, К.А.Старков. Харьков: ХГАГХ, 2002. 185 с.

Надійшла до редколегії 02.04.2004

УДК 519.81

Д.А. БУЛАВИН, К.Э. ПЕТРОВ, Э.Г. ПЕТРОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МНОГОФАКТОРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

### Вступление.

Идентификация математической модели объекта заключается в определении ее характеристик на основе опытного исследования объекта. Идентификация является самой трудоемкой и самой ответственной операцией при анализе объектов.

Классическая задача идентификации заключается в том, чтобы по входным  $x$  и выходным  $y$  сигналам определить модель  $y = F(x)$  преобразования сигналов объектом. Такую идентификацию называют прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходным сигналам объекта. Однако в некоторых случаях появляется необходимость идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к информации о выходном сигнале. Объекты, рассматриваемые в статье, относятся именно к такому типу. В разных ситуациях оценки даваемые человеком тем или иным свойствам объекта субъективны, их невозможно непосредственно измерить никакими физическими приборами. В таких случаях классические методы прямой идентификации для изучения процессов оценивания неприменимы. Альтернативными являются методы косвенной идентификации. Из них самым удобным и широко применяемым является метод компараторной идентификации [1].

### 1 Постановка задачи

Пусть имеется множество альтернатив (решений)  $X = \{x_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , каждая из которых характеризуется набором частных критериев (характеристик)  $k_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Значения частных критериев  $k_i(x_j)$  однозначно определены. На основе анализа указанной информации индивидиум осуществляет:

- выбор из  $X$  наиболее предпочтительного решения, например  $x_l$ ;
- ранжирование всех решений  $x \in X$  в порядке убывания их предпочтительности, то есть устанавливает строгое или нестрогое отношение порядка на множестве альтернатив  $X$ :

$$x_1 \succ x_2 \succ \dots \succ x_m.$$

Это означает, что согласно теории полезности [2], которая постулирует существование скалярной количественной оценки предпочтительности любой альтернативы  $x_j \in X$ , можно записать:

$$P(x_l) > P(x_j); \forall j \neq l; j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

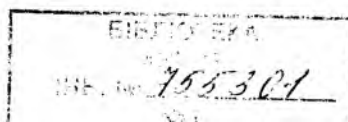
а для второго случая соответственно:

$$P(x_1) > P(x_2) > \dots > P(x_m), \quad (2)$$

где  $P(x_j)$  - скалярная индивидуальная оценка полезности альтернативы.

На основе этой информации необходимо синтезировать математическую модель индивидуального выбора ЛПР, то есть модель формирования обобщенной полезности  $P(x_i)$ .

В настоящее время наиболее широко используются две формы функции полезности: аддитивная:



$$P_1(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x) \quad (3)$$

и мультипликативная:

$$P_2(x) = \prod_{i=1}^n \lambda_i k_i(x), \quad (4)$$

где  $\lambda_i$  - коэффициенты изоморфизма, приводящие разнородные по смыслу, размерности, значимости, интервалу возможных значений частные критерии  $k_i$  к изоморфному виду.

Наиболее информативной ситуацией является та, в которой коэффициенты изоморфизма заданы численно. Так как  $\lambda_i$  - это константы, то (4) можно переписать следующим образом:

$$P_k(x) = \prod_{i=1}^n \lambda_i \prod_{i=1}^n k_i(x). \quad (5)$$

Рассмотрение (5) показывает, что мультипликативная оценка не позволяет учесть «веса» частных критериев, так как произведение  $\prod \lambda_i$  является постоянным масштабным множителем и не влияет на соотношение полезностей различных решений  $x \in X$ . Поэтому более универсальной и широко применяемой является аддитивная функция полезности.

Формула (3) имеет смысл только тогда, когда  $\lambda_i$  учитывают важность частных критериев и одновременно являются коэффициентами изоморфизма. Чаще всего определение таких коэффициентов является большой проблемой, поэтому было предложено представить аддитивную функцию полезности в виде:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), \quad (6)$$

где  $a_i$  - относительные безразмерные весовые коэффициенты, для которых выполняются следующие ограничения:

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (7)$$

а  $k_i^H(x)$  - это нормализованные, то есть приведенные к изоморфному виду частные критерии.

Нормализация производится по формуле:

$$k_i^H(x) = \left( \frac{k_i(x) - k_{i_{\text{нх}}}}{k_{i_{\text{нл}}} - k_{i_{\text{нх}}}} \right), \quad (8)$$

где  $k_i(x)$  - значение частного критерия;  $k_{i_{\text{нл}}}$ ,  $k_{i_{\text{нх}}}$  - соответственно наилучшее и наихудшее значения частного критерия, которые он принимает на области допустимых значений  $x \in X$ .

Таким образом на аксиоматическом уровне постулируется структура модели оценивания и задача синтеза функции полезности сводится к параметрической идентификации коэффициентов относительной важности  $a_i$ . Для этого используются методы экспертного оценивания или компараторной идентификации. [3]

Недостаток аддитивной функции полезности заключается в том, что она не учитывает возможную нелинейность зависимости полезности от абсолютных значений частных критериев  $k_i$  и их взаимовлияние.

Большой теоретический и практический интерес представляет решение общей задачи

структурно-параметрической идентификации модели индивидуального оценивания при более широких ограничивающих допущениях о структуре модели.

Для этого предлагается в качестве класса возможных структур использовать полином Колмогорова-Габор

$$P(x) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x) + \sum_{r=n+1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{g=1}^n a_r k_j^H(x) * k_g^H(x) + \dots, i = \overline{1, n}, g = \overline{1, n}, r = \overline{n+1, m}, \quad (9)$$

а в качестве метода решения общей задачи структурно-параметрической идентификации – генетические алгоритмы.

Такой подход позволяет описать любую нелинейную зависимость и не накладывает никаких априорных ограничений на аддитивность или мультипликативность, так как полином (9) содержит в своем составе как первые, так и более высокие степени характеристик  $k_j(x)$  и все возможные их комбинации.

## 2 Определение модели оптимальной сложности

Целью решения задачи структурно-параметрической идентификации является синтез модели оптимальной сложности, которая обеспечивает минимум критерия оценки погрешности аппроксимации экспериментальных данных выхода модели.

Как известно, любую последовательность  $N$  экспериментальных данных можно точно аппроксимировать полиномом с  $N-1$  членом путем решения системы нормальных алгебраических уравнений. Однако такая аппроксимация не означает, что синтезирована адекватная модель высокой точности с хорошими прогностическими свойствами. Это обусловлено тем, что экспериментальные данные содержат измерительные и другие неконтролируемые случайные погрешности. Поэтому полином высокой сложности аппроксимирует не только полезный сигнал, но и случайные погрешности экспериментальных данных. Для преодоления указанного недостатка в работах [4,5] предложено разделять выборку экспериментальных данных на два подмножества данных: обучающее и проверочное. Первое подмножество используется для синтеза модели и определения ее характеристик, например, методом наименьших квадратов, а вторая – для проверки точности модели. При этом оказалось, что при увеличении сложности модели точность аппроксимации проверочной последовательности экспериментальных данных сначала улучшается, погрешность достигает некоторого минимума и затем начинает ухудшаться за счет учета «вредных» случайных составляющих. Модель, дающая минимум погрешности аппроксимации проверочной последовательности, получила название модели оптимальной сложности [4].

При этом возникает задача выбора критерия оценки точности математической модели. В случае классической идентификации для этого чаще всего используется критерий наименьших квадратов, для реализации которого необходимы численные экспериментальные данные о входных и выходных воздействиях объекта. В случае идентификации модели многофакторного оценивания, как уже отмечалось выше, количественная информация о выходных воздействиях отсутствует. В связи с этим возникает ряд специфических проблем, решение которых рассмотрено ниже.

## 3 Обоснование критерия оценки точности и адекватности модели многофакторного оценивания

При компараторной идентификации модели оценивания исходные экспериментальные данные получаются следующим образом. В ходе активного или пассивного эксперимента индивидууму, который является лицом, принимающим решение (ЛПР), предъявляется набор альтернатив  $X = \{X_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Каждая альтернатива  $x \in X$  характеризуется одинаковым

набором частных критериев  $K = \langle k_i \rangle, i = \overline{1, n}$ . В результате эксперимента ЛПР делает выбор лучшей альтернативы или устанавливает на множестве альтернатив отношение строгого или нестрогого порядка. Пусть индивидуум выбрал альтернативу  $X_l$ . Тогда согласно (1) можно записать  $(m - 1)$  неравенство вида

$$P(X_l) > P(X_j), \forall j \neq l. \quad (10)$$

Система неравенств (10) определяет некоторый многогранник на гиперплоскости, описываемой уравнением (7), любая точка которого удовлетворяет системе (10). Какая либо другая информация отсутствует, поэтому естественно в качестве критерия адекватности модели формирования функции полезности  $P(x)$  принять степень удовлетворения системы неравенств (10), а сравнительную точность моделей оценивать числом удовлетворенных неравенств. Такой критерий является качественным и не позволяет получить конструктивные количественные оценки адекватности модели. Поэтому предлагается косвенный метод оценки качества модели оценивания, позволяющий проводить сравнительную количественную оценку различных процедур и алгоритмов структурно-параметрической идентификации.

Метод основан на формировании некоторой эталонной ситуации выбора. Для этого задается набор альтернатив  $X = \{X_j\}, j = \overline{1, m}$ . Каждая альтернатива характеризуется кортежем характеристик  $K = \langle k_i \rangle, i = \overline{1, n}$ , которые задаются в виде точных числовых значений. Кроме того задается структура эталонной модели оценивания и назначаются численные значения ее параметров (весовых коэффициентов  $a_i$ ). Таким образом, полностью и однозначно определены ситуация выбора и структурно-параметрические характеристики эталонной модели выбора. На основе этих данных вычисляются эталонные значения многофакторных оценок полезности всех альтернатив  $P^{\mathcal{E}}(X_j), j = \overline{1, m}$ , которые ранжируются и определяется альтернатива с максимальным значением эталонной полезности  $X_j^{\mathcal{E}}$ . Эта альтернатива рассматривается как выбор ЛПР. Для нее составляется система неравенств вида (10) и далее решается задача компараторной структурно-параметрической идентификации, в результате которой определяется структура и параметры модели. Для этой модели вычисляем значения модельных полезностей  $P^M(X_j)$  для всех альтернатив. Оценка качества идентифицированной модели производится путем сравнения с эталонной моделью по следующим критериям:

- степени совпадения структуры (полиномов);
- различию значений коэффициентов  $a_i$ ;
- абсолютному суммарному отличию полезностей альтернатив

$$\Delta P_1 = \sum_{i=1}^n |P^M(X_i) - P^{\mathcal{E}}(X_i)|; \quad (11)$$

- квадратичной оценки вида

$$\Delta P_2 = \sum_{i=1}^n [P^M(X_i) - P^{\mathcal{E}}(X_i)]^2. \quad (12)$$

#### 4 Решение задачи структурно-параметрической идентификации методом генетических алгоритмов

В описанной выше постановке задача компараторной структурно-параметрической идентификации может быть решена различными методами и алгоритмами. Однако общим для всех них является необходимость реализации последовательности процедур:

- формирования структуры модели;
- определения количественных значений ее параметров,
- оценки качества модели.

Наиболее известными методами формирования структуры модели являются.

- метод последовательного усложнения;
- метод группового учета аргументов (МГУА);
- метод генетических алгоритмов.

Решение второй задачи возможно:

- одним из методов компараторной идентификации, например путем определения Чебышевской точки;
- методом случайного поиска;
- методом генетических алгоритмов.

Возможна различная композиция алгоритмов первого и второго этапов, отличающаяся точностью, трудоемкостью, универсальностью. Для выработки оценок совершенства и универсальности по области применения методов необходимо их исследование. Ниже проведем синтез и исследование с помощью машинных экспериментов группы алгоритмов генетического программирования.

Генетические алгоритмы обобщили идеи генетической селекции, предложенные Ивахненко А.Г. в рамках МГУА [4] и случайного поиска, развиваемые Растригиным Л.А.[8]. Общая методология реализации генетических алгоритмов широко описана [5,7], и интерес представляют только особенности конкретной реализации.

Генетические алгоритмы (ГА) основаны на механизмах натуральной селекции и реализуют схему «выживание сильнейших» среди рассмотренных структур, формируя и изменяя поисковый алгоритм на основе моделирования эволюции поиска. В каждой генерации новое множество искусственных последовательностей создается с использованием части старых и добавлением новых частей с «хорошими свойствами» [6].

ГА начинает работу с некоторого случайного набора решений, который называется *популяцией*. Каждый элемент из популяции называется *хромосомой* и представляет собой некоторое решение проблемы. Хромосомы эволюционируют на протяжении множества итераций, носящих название *поколений* (генераций). В процессе итераций хромосома оценивается с использованием *функции соответствия*[7].

При решении задачи структурно-параметрической идентификации на первом этапе необходимо сформировать популяцию хромосом, описывающих структуру модели. Для этого необходимо выделить класс допустимых структур. В качестве такого класса примем полином Колмогорова-Габора, исключив из него свободный член и ограничившись только линейными и квадратичными членами (квадратами и попарными сочетаниями переменных). Тогда полином будет иметь вид:

$$P = \sum_{i=1}^n a_i k_i(x) + \sum_{j=1}^n a_j k_j^2(x) + \sum_{l=1}^{C_n^2} a_l k_l(x) * k_r(x); \quad l = \overline{1, n}, r = \overline{1, n}, l \neq r. \quad (13)$$

Это означает, что для  $n$  частных критериев полный полином будет иметь

$$N = 2n + C_n^2 \quad (14)$$

членов, где  $C_n^2$  число сочетаний, равное

$$C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n!}{2(n-2)!} \quad (15)$$

Следовательно, каждая хромосома популяции должна содержать  $N$  бит.

Введенное ограничение на сложность полинома основано на том, что после нормирования по формуле (8) все частные характеристики имеют значения  $0 \leq k_i^H \leq 1$ . Возведение таких чисел в степень или произведение двух и более таких чисел приведут к быстрому убыванию значений. Кроме того каждый член полинома умножается на коэффициент  $a_i < 1$  (в силу того, что  $\sum_{i=1}^N a_i = 1$ ). Исходя из того, что вычисление полезностей альтернатив  $P(X)$  и весовых коэффициентов  $a_i$  с точностью выше второго знака после запятой нецелесообразно, можно сделать вывод о нецелесообразности учета членов более второго порядка.

После генерации популяции хромосом, описывающих структуру модели, для каждой из них на втором этапе проводится параметрическая идентификация одним из возможных методов:

- методом определения Чебышевской точки на многограннике, описываемом системой неравенств (10);
- методом генетических алгоритмов.

Первый из перечисленных методов описан в [3,9] и здесь не рассматривается. Отметим только, что алгоритм ориентирован на линейную аддитивную функцию полезности (6). Введение в функцию полезности квадратов и попарных произведений  $k_i^H(x)$  не влияет на линейность полинома относительно искомым переменных  $a_i$ , так как по определению характеристики  $k_i(x)$  заданы точными численными значениями. Поэтому алгоритм может быть корректно распространен на рассматриваемый случай.

Реализация генетического алгоритма производится следующим образом. Для каждой хромосомы популяции, характеризующей структуру модели, определяется количество  $M$  коэффициентов  $a_i$ , равное числу единиц в хромосоме. По определению значение коэффициентов  $a_i$  должно удовлетворять условиям:

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^M a_i = 1 \quad (16)$$

и вычисляться с точностью до второго знака после запятой. Отсюда число бит, которое должна содержать хромосома каждого коэффициента  $a_i$ , равно [7]:

$$2^{m_j-1} < (b_j - a_j) * 10^2 < 2^{m_j} - 1, \quad (17)$$

где  $[a_j, b_j]$  – интервал изменения  $a_i$ , указанный в (16), а суммарная хромосома всех коэффициентов  $a_i$ ,  $i = \overline{1, M}$  имеет вид:

$$B = L * M. \quad (18)$$

$$N = 2n + C_n^2 \quad (14)$$

членов, где  $C_n^2$  число сочетаний, равное

$$C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n!}{2(n-2)!} \quad (15)$$

Следовательно, каждая хромосома популяции должна содержать  $N$  бит.

Введенное ограничение на сложность полинома основано на том, что после нормирования по формуле (8) все частные характеристики имеют значения  $0 \leq k_i^H \leq 1$ . Возведение таких чисел в степень или произведение двух и более таких чисел приведут к быстрому убыванию значений. Кроме того каждый член полинома умножается на коэффициент  $a_i < 1$  (в силу того, что  $\sum_{i=1}^N a_i = 1$ ). Исходя из того, что вычисление полезностей альтернатив  $P(X)$  и весовых коэффициентов  $a_i$  с точностью выше второго знака после запятой нецелесообразно, можно сделать вывод о нецелесообразности учета членов более второго порядка.

После генерации популяции хромосом, описывающих структуру модели, для каждой из них на втором этапе проводится параметрическая идентификация одним из возможных методов:

- методом определения Чебышевской точки на многограннике, описываемом системой неравенств (10);
- методом генетических алгоритмов.

Первый из перечисленных методов описан в [3,9] и здесь не рассматривается. Отметим только, что алгоритм ориентирован на линейную аддитивную функцию полезности (6). Введение в функцию полезности квадратов и попарных произведений  $k_i^H(x)$  не влияет на линейность полинома относительно искомым переменных  $a_i$ , так как по определению характеристики  $k_i(x)$  заданы точными численными значениями. Поэтому алгоритм может быть корректно распространен на рассматриваемый случай.

Реализация генетического алгоритма производится следующим образом. Для каждой хромосомы популяции, характеризующей структуру модели, определяется количество  $M$  коэффициентов  $a_i$ , равное числу единиц в хромосоме. По определению значение коэффициентов  $a_i$  должно удовлетворять условиям:

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^M a_i = 1 \quad (16)$$

и вычисляться с точностью до второго знака после запятой. Отсюда число бит, которое должна содержать хромосома каждого коэффициента  $a_i$ , равно [7]:

$$2^{m_j-1} < (b_j - a_j) * 10^2 < 2^{m_j} - 1, \quad (17)$$

где  $[a_j, b_j]$  – интервал изменения  $a_i$ , указанный в (16), а суммарная хромосома всех коэффициентов  $a_i$ ,  $i = \overline{1, M}$  имеет вид:

$$B = L * M. \quad (18)$$

Формируем популяцию хромосом коэффициентов  $a_i$  для каждой хромосомы популяции структур и решаем задачу генетического выбора таких значений коэффициентов, которые максимизируют значение функции соответствия. В качестве функции соответствия принимается число удовлетворенных неравенств системы (10), которая при необходимости может быть разделена на обучающее и проверочное множества.

На сформированных популяциях реализуется итерационная процедура генетического выбора на второй и первой популяциях до достижения лучшего значения функции соответствия.

### 5 Экспериментальная проверка генетического алгоритма структурно-параметрической идентификации функции полезности

Экспериментальную проверку работоспособности и эффективности генетического алгоритма идентификации будем проводить по приложенной выше методике сравнения с эталонной ситуацией.

В качестве эталонной рассмотрим ситуацию выбора с учетом пяти частных критериев  $k_i(x)$ ,  $i = \overline{1,5}$ . Для этого сгенерируем набор двенадцати альтернатив  $X = \{X_j\}$ ,  $j = \overline{1,12}$ . Характеристики множества эталонных альтернатив после нормирования частных критериев (6) приведены в табл. 1.

Таблица 1

	$k_1^H(x)$	$k_2^H(x)$	$k_3^H(x)$	$k_4^H(x)$	$k_5^H(x)$
$X_1$	0,87	0,11	0,55	0,12	0,47
$X_2$	0,42	0,37	1	0	0,75
$X_3$	0,11	0,66	0,34	0,82	0,32
$X_4$	0,74	0,24	0,19	0,52	0,92
$X_5$	0	1	0,64	0,25	0,1
$X_6$	1	0	0,44	0,36	1
$X_7$	0,40	0,80	0,59	0,05	0,60
$X_8$	0,49	0,46	0	1	0,15
$X_9$	0,64	0,42	0,32	0,78	0
$X_{10}$	0,92	0,08	0,38	0,25	0,82
$X_{11}$	0,18	0,60	0,64	0,85	0,62
$X_{12}$	0,25	0,55	1	0,18	0,72

В качестве эталонной структуры функции полезности примем полином Колмогорова-Габова вида:

$$P_j(x) = \sum_{j=1}^5 a_j k_j^H(X_j) + a_6 k_1^2 + a_7 k_2^2 + a_8 k_3^2 + a_9 (k_4 * k_5). \quad (19)$$

Следующим шагом сгенерируем вектор весовых коэффициентов  $A = \langle a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9 \rangle$ , удовлетворяющий условию (16). Он будет иметь вид  $A = \langle 0,2; 0,12; 0,15; 0,08; 0,1; 0,15; 0,07; 0,1; 0,03 \rangle$ .

С учетом данных табл. 1 и вектора весовых коэффициентов по (19) вычисляем эталонные значения полезностей альтернатив. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

$X_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
$P(X_i)$	0,46	0,49	0,30	0,44	0,35	0,56	0,43	0,30	0,37	0,50	0,42	0,48

Как видно из табл. 2 лучшей является альтернатива  $X_6$ , которая имеет максимальную полезность, равную 0,56. На основе этого можно составить систему одиннадцати неравенств вида  $P(X_l) > P(X_i)$ ,  $\forall i \neq l, i = \overline{1,12}$ .

Эта система неравенств является исходной для решения задачи компараторной идентификации.

Согласно (14) хромосома популяции структур для  $n = 5$  должна содержать  $N = 20$  бит. Случайным образом генерируем популяцию из 10 исходных хромосом:

1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0

Таким образом мы получили 10 вариантов структуры полинома:

$$V_1 = a_1k_1 + a_2k_4 + a_3k_5 + a_4k_2^2 + a_5k_3^2 + a_6k_1k_4 + a_7k_1k_5 + a_8k_3k_4 + a_9k_4k_5;$$

$$V_2 = a_1k_1 + a_2k_2 + a_3k_5 + a_4k_1^2 + a_5k_2^2 + a_6k_5^2 + a_7k_1k_2 + a_8k_2k_5 + a_9k_4k_5;$$

$$V_3 = a_1k_2 + a_2k_3 + a_3k_4 + a_4k_2^2 + a_5k_3^2 + a_6k_2k_3 + a_7k_2k_4;$$

$$V_4 = a_1k_1 + a_2k_3 + a_3k_4 + a_4k_1^2 + a_5k_3^2 + a_6k_4^2 + a_7k_1k_3 + a_8k_1k_4 + a_9k_3k_4;$$

$$V_5 = a_1k_4 + a_2k_5 + a_3k_1^2 + a_4k_3^2 + a_5k_5^2 + a_6k_3k_4 + a_7k_3k_5 + a_8k_4k_5;$$

$$V_6 = a_1k_2 + a_2k_5 + a_3k_2^2 + a_4k_5^2 + a_5k_1k_3 + a_6k_2k_5 + a_7k_4k_5;$$

$$V_7 = a_1k_1 + a_2k_2 + a_3k_3 + a_4k_4 + a_5k_1^2 + a_6k_2^2 + a_7k_1k_2 + a_8k_1k_4 + a_9k_3k_4;$$

$$V_8 = a_1k_2 + a_2k_3 + a_3k_5 + a_4k_2^2 + a_5k_4^2 + a_6k_5^2 + a_7k_2k_3 + a_8k_2k_5 + a_9k_3k_5;$$

$$V_9 = a_1k_3 + a_2k_4 + a_3k_5 + a_4k_3^2 + a_5k_4^2 + a_6k_5^2 + a_7k_2k_4 + a_8k_3k_4 + a_9k_3k_5;$$

$$V_{10} = a_1k_2 + a_2k_4 + a_3k_5 + a_4k_2^2 + a_5k_4^2 + a_6k_1k_3 + a_7k_2k_4 + a_8k_2k_5 + a_9k_3k_5;$$

Для определения весовых коэффициентов методом генетических алгоритмов в соответствии с (18) формируем для каждой хромосомы популяции структуру хромосомы популяции весовых коэффициентов.

Таким образом, для  $V_1$  мы должны сформировать хромосому длиной в 63 бита, каждые 7 битов которой будут составлять один весовой коэффициент. Для каждой хромосомы структуры составляем 10 хромосом весовых коэффициентов. Аналогично составляем хромосомы для остальных десяти структур по формуле (18).

В результате этого получим следующие решения, представленные в табл.3:

Таблица 3

$A_i$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
Кол-во	9	9	7	9	8	7	9	9	9	9

Оценка функции соответствия хромосомы выполняется в три этапа:

1. Преобразование генотипа хромосомы в фенотип  $a_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$ .

В данной задаче это означает преобразование двоичной строки в соответствующее действительное значение.

2. Вычисление  $V_j$  для всех альтернатив.

3. Проверка количества неравенств системы (10), которым удовлетворяет данное решение. Если решение удовлетворяет всем неравенствам, то найдено оптимальное решение, если нет – следует продолжить действие алгоритма.

Так как в результате первой итерации решение не было найдено, переходим к следующей итерации, повторяя сначала генерацию популяции хромосом структуры, а затем популяции хромосом весовых коэффициентов.

## 6 Описание результатов и выводы

Проведя шесть итераций, мы нашли решение, которое удовлетворяет всем неравенствам системы (10). Хромосома структуры имеет вид

1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Полученные результаты представим в следующем виде:

$$\text{эталонный полином: } P_j(x) = \sum_{j=1}^5 a_j k_j^n (X_j) + a_6 k_1^2 + a_7 k_2^2 + a_8 k_3^2 + a_9 (k_4 * k_5),$$

$$\text{оптимальный полином: } P_{opt} = a_1 k_1 + a_2 k_3 + a_3 k_5 + a_4 k_1^2 + a_5 k_5^2 + a_6 k_1 k_5,$$

$$\text{эталонные весовые коэффициенты: } A = \langle 0,2; 0,12; 0,15; 0,08; 0,1; 0,15; 0,07; 0,1; 0,03 \rangle,$$

$$\text{оптимальные весовые коэффициенты: } A_{opt} = [0,25; 0,12; 0,2; 0,18; 0,15; 0,1].$$

Полезность альтернативы  $X_6$  равна 0,932, что выше, чем эталонный результат, и структура полинома меньше, чем эталонный результат.

Оценка качества идентифицированной модели произведена по методу квадратичной оценки (12)  $\Delta P_2 = 0,325$ .

Результаты исследований нелинейными методами идентификации модели многофакторного оценивания показали, что применение новой методики с использованием в качестве функции полезности нелинейного полинома Колмогорова-Габора и генетических алгоритмов

для вычисления весовых коэффициентов дает ощутимый выигрыш во времени и точности показателей. А также является более наглядным для ЛПР, нежели другие методы.

**Список литературы:** 1. *Овезгельдыев А.О., Петров К.Э.* Компараторная идентификация параметров линейных моделей многофакторного оценивания //Радиоэлектроника и информатика. 1998. №2(03). 2. *Нейман Дж.,Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 124с. 3.*Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. К.: Наукова думка. 2002. 161с. 4. *Ивахненко А.Г., Лапа В.Г.* Предсказание случайных процессов, АН УССР, 1971. 416с. 5. *Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петров, С.А. Сергеев.* Харьков. Основа, 1997. 112с. 6. *Курейчик В.М* Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы. Таганрог. 1999. 7. *Ротштейн А.П.* Интеллектуальные технологии идентификации. Винница: «Универсум-Винница», 1999. 320с. 8. *Растрингин Л.А.* Адаптация сложных систем: Методы и приложения, Рига, 1981. 375с. 9. *Петров Э.Г., Булавин Д.А.* Использование методов Чебышевской точки и генетических алгоритмов для нахождения структуры модели многофакторного оценивания //Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. №58. 36-44с.

*Поступила в редколлегию 30.09.2004*

УДК 519.7

*А.С. ВОДОЛАЖСКИЙ, Г.Ф. ДЮБКО*

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАШИННЫХ ПРОГРАММ**

### **1 Введение**

Семантические методы анализа программных систем применяются в различных сферах: при тестировании приложений, в области защиты информации, в области обратного проектирования. Суть этого анализа заключается в комплексном исследовании программы на ее различных уровнях представления, начиная с самого низкого – уровня машинного кода – и заканчивая уровнем блок-схем или диаграмм, отражающим различные связи и взаимодействия между отдельными модулями программы на уровне семантики, т.е. фактически отражающим логику работы программы. Цель данной статьи – показать процесс перехода от начального уровня представления к верхнему уровню, который позволяет выявить семантические особенности и функциональные возможности программы.

### **2 Построение логической схемы программы**

В процессе анализа машинного кода формируется так называемый управляющий граф программы. Это некоторая логическая структура, в которой отражена информация о всех возможных вариантах выполнения программы. Структура состоит из набора логических блоков. В каждом блоке содержатся данные о прямолинейном участке программы – участке, на котором код выполняется последовательно без переходов и вызовов процедур. На таких участках обычно производятся арифметические вычисления. Заканчивается такой блок командой передачи управления. Как результат, вершинами управляющего графа служат такие логические блоки, а дугами – связи между блоками, выражаемые командами ветвлений. Связи между вершинами несут определенную семантическую нагрузку, зависящую от вида перехода (безусловная передача управления, вызов подпрограммы, условный переход). Управляющий граф является своеобразным представлением программы на более высоком уровне абстракции, так как оперирует уже не отдельными машинными инструкциями, а целыми группами команд и отношениями между ними [1]. Управляющий граф используется в анализе, направленном на определение семантических особенностей программы. Строится такой граф путем дизассемблирования машинных команд и анализа хода выполнения программы (на основании сканирования условных и безусловных переходов, вызовов подпрограмм и прерываний, а также команд выхода из процедур). Однако целью данной статьи служит не описание методики построения логической структуры, а анализ более высокого уровня, поэтому остановимся подробнее на следующем этапе, а именно – анализе полученного управляющего графа программы.

На основании анализа графа можно выявить некоторые семантические особенности, скрытые в общем потоке машинных команд. Например, можно выделить различные абстрактные элементы, отражающие уже внутреннюю структуру анализируемого модуля, такие как циклы, функции, группы условий [2]. Можно проанализировать структуру в целом, не вдаваясь в специфику вычислений внутри каждого блока.

### **3 Определение основных конструкций языков высокого уровня**

В управляющем графе можно выделить некоторые характерные признаки, по которым в дальнейшем идентифицируются те или иные абстрактные конструкции. Наиболее простым примером таких конструкций служат циклы (аналогично языкам высокого уровня). Более сложные варианты: определение границ функций, определение семантики функций (где это возможно сделать без интерпретации содержащихся в них машинных команд) и т.д. Остановимся пока на первом варианте. Первоначально введем несколько обозначений. Определим перечень признаков (особенностей), которые можно было бы выделить в управляющем гра-

фе. Эти признаки целиком зависят от характера связей между вершинами, а также, в некоторой степени, – от особенностей самих вершин: является ли данный блок последним в последовательности, т.е. заканчивается ли он командой безусловной передачи управления, заканчивается ли он командой условного перехода, предоставляя два варианта дальнейшего выполнения кода, либо же он не заканчивается командой ветвления, передавая управление на следующий за ним участок. Последняя ситуация возникает, когда в процессе анализа программы и построения логической схемы обнаруживается переход внутрь уже сформированного блока. В этом случае данный блок делится на два: второй начинается с адреса, куда указывает команда перехода (и сохраняет все атрибуты исходного блока), а первый, таким образом, содержит прямолинейный участок кода, не заканчивающийся командой ветвления.

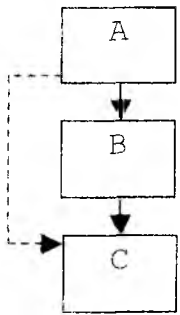


Рис. 1

Рассмотрим процедуры формирования основных конструкций языков высокого уровня. Описания будут представлены в нотации языка Пролог, что позволит использовать их в системе автоматического логического вывода [3]. Самый простой вариант такой конструкции – условный оператор *if* (рис. 1). Пусть имеются некоторые логические блоки *A*, *B* и *C* (то, что в рассмотрении участвуют указанные блоки, обозначим через  $N(A,B,C)$ ). Для того чтобы эти три блока представляли конструкцию условного оператора, необходимо выполнение ряда условий. Во-первых, в блоке *A* должно быть реализовано некоторое условие. Оно представляет собой набор арифметических и логических операций, результат вычисления которых определяет, истинно условие или ложно. Обозначим эти вычисления через *Cond* и введем предикат  $K(A, Cond)$ , который будет обозначать, что блок *A* содержит некоторое условие *Cond*. Во-вторых, блок *A* должен заканчиваться командой условного перехода. Как видно из рисунка, в том случае, когда условие истинно, происходит переход на блок *B*, а когда условие ложно – управление передается на блок *C*. Введем предикат  $U(A,B,C)$ , обозначающий, что в случае выполнения условия из блока *A* производится переход на блок *B*, а в противном случае – на блок *C*. Следует отдельно рассмотреть блок *B*: он представляет собой фактически тело условного оператора. Когда этот участок программы завершает выполнение, он передает управление на блок *C*. Таким образом, введем еще один предикат  $T(B,C)$ , обозначающий безусловную передачу управления из блока *B* в блок *C*. Надо также отметить, что участок *B* может представлять собой не один логический блок, а несколько. В этом случае этот набор блоков будет иметь одну общую точку входа и один общий выход. Так как при этом исключаются все переходы за пределы данного участка программы (сохраняя, таким образом, целостность конструкции *if*), эти элементы в данном случае можно представить одним блоком *B*. Наконец, обозначив через  $f_{if\_form}$  функцию формирования высокоуровневой конструкции по блокам *A*, *B* и *C*, получим:

Более сложную структуру имеет оператор *if..else* (рис. 2). В нем присутствуют уже не три, а четыре логических блока: *A*, *B*, *C*, и *D* (обозначим  $N(A,B,C,D)$ ). В блоке *A*, как и в предыдущем случае, должно присутствовать условие  $K(A, Cond)$  и осуществляться условный переход на последний блок всей конструкции – в данном случае на *D*. Однако в случае выполнения условия должен выполняться блок *B*, а в том случае, когда условие не срабатывает – блок *C*. Это две взаимоисключающие ветви программы. По окончании выполнения каждой из них управление передается на блок *D*.

$$IF(f_{if\_form}(A,B,C,Cond) : -N(A,B,C), K(A,Cond), U(A,B,C), T(B,C)). \quad (1)$$

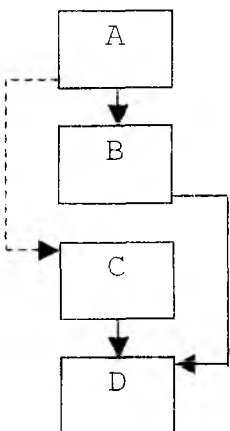


Рис. 2

Таким образом, можно записать следующее:

$$IF\_ELSE(f_{if\_else\_form}(A, B, C, D, Cond) : -N(A, B, C, D), K(A, Cond), U(A, B, C), T(B, D), T(C, D)). \quad (2)$$

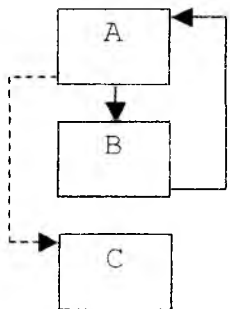


Рис. 3

Похожий вид имеет структура цикла *while* (рис. 3) за тем лишь исключением, что в ней отсутствует блок *D*, а переход в конце блока *B* осуществляется на начало конструкции, создавая тем самым тело цикла. Условие формируется в начальном блоке (блоке *A*) –  $K(A, Cond)$ . Затем идет тело цикла, переход на которое осуществляется при выполнении условия. Когда выполнение в теле цикла (блоке *B*) завершается, управление передается назад на условие для подготовки очередной итерации. Если же условие не выполняется, то цикл завершает свою работу и управление передается на следующий за ним блок – блок *C*. Все это можно выразить следующей формулой:

$$WHILE(f_{while\_form}(A, B, C, Cond) : -N(A, B, C), K(A, Cond), U(A, B, C), T(B, A)). \quad (3)$$

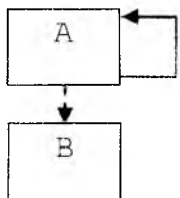


Рис. 4

Конструкция типа *do..while* имеет еще более простой вид (рис. 4). В ней присутствуют только блоки *A* и *B* (обозначим  $N(A, B)$ ). Тело цикла заключено в блоке *A* и выполняется как минимум один раз. Поэтому условие цикла формируется в конце тела цикла и тоже в блоке *A* –  $K(A, Cond)$ . В зависимости от того, выполняется условие или нет, производится переход либо на начало блока *A* для новой итерации, либо на блок *B* – выход из цикла. Запишем формулу в следующем виде:

$$DO\_WHILE(f_{do\_while\_form}(A, B, Cond) : -N(A, B), K(A, Cond), U(A, A, B)). \quad (4)$$

Описанные выше конструкции являются базовыми для всех языков программирования. На их основе можно построить более сложные элементы, например циклы *for*, *case*-таблицы, функции и т.д.

#### 4 Анализ содержимого логических блоков

Для выделения в теле программы логических элементов, несущих большую семантическую нагрузку, необходимо использовать комплексные методы. В данном случае уже нельзя ограничиваться только анализом связей внутри управляющего графа [4]. Необходимо анализировать сущность команд, расположенных внутри блоков, так как без этого нельзя составить полной картины о характере анализируемого кода и смысле выполняемых им действий. Предлагаемый подход ориентирован на семейство процессоров *x86*, однако сама концепция может использоваться и для процессоров другим типом.

Большинство машинных команд можно представить в следующем виде:  $\langle \text{команда} \rangle \langle \text{операнд1} \rangle, \langle \text{операнд2} \rangle$ , где *операнд1* – операнд назначения, *операнд2* – операнд-источник. Например, *ADD AX, BX* подразумевает сложение регистров *AX* и *BX* и запись результата в *AX*. Существуют команды с тремя операндами, с одним операндом, без операндов, но их принцип действия точно такой же – просто остальные параметры являются либо вспомогательными, либо неявно заданными. Рассмотрим еще раз приведенную выше команду. Фактически ее можно записать как  $AX = AX + BX$ , т.е. в виде некоторого арифметического выражения. Таким же образом можно представить и остальные арифметические и логические команды, команды инициализации и т.д., всего около половины всех мнемоник. Остальная часть – это либо команды ветвлений, либо специальные команды управления состоянием процессора – флагами, кэшем и т.д. Первые уже были рассмотрены выше, последние на семантику программы большого влияния не оказывают.

В целом каждая команда представляет собой одну или несколько простых операций,

манипулирующих общими данными и выдающих некоторый результат. Этот результат является входными данными (обычно, но не обязательно) для следующей инструкции и т.д. Объединяя несколько таких команд в единое целое (например, в логический блок), можно представить их в виде некоторой функции. У этой функции будут входные переменные – регистры или ячейки памяти, используемые как источники данных, промежуточные переменные, используемые для временных расчетов и выходные – как результат работы блока. Разбиение на блоки удобно тем, что внутри одного блока отсутствуют команды передачи управления, а его содержимое – набор последовательно исполняемых инструкций, то есть вычисления связаны и не разносятся по нескольким блокам. В противном случае анализ блоков существенно усложняется.

Таким образом, анализируя блок за блоком, можно составить набор некоторых простейших функций, выполняемых на некотором участке программы. Эта информация уже несет определенную семантическую нагрузку, так как дает представление о функциональных возможностях программы. Далее, на основании анализа этих простейших функций, можно построить более сложные, основанные на результатах вычисления этих простейших, далее еще более сложные и т.д. Теоретически всю программу в целом можно представить в виде некоторой общей функции, параметрами которой являются частные функции. Эти функции несут информацию о том, какие действия выполняет программа, то есть фактически отражают семантику исполняемого машинного кода [5].

### 5 Пример применения методики

В качестве примера рассмотрим функцию вычисления факториала. На языке Си она выглядела бы так, как показано на рис. 5. После компиляции, дизассемблирования и разбиения на логические блоки получаем схему, приведенную на рис. 6.

```
int func(int n)
{
    int m = 1;
    for (int i=2; i<=n; i++)
        m = m * i;
    return m;
}
```

Рис. 5

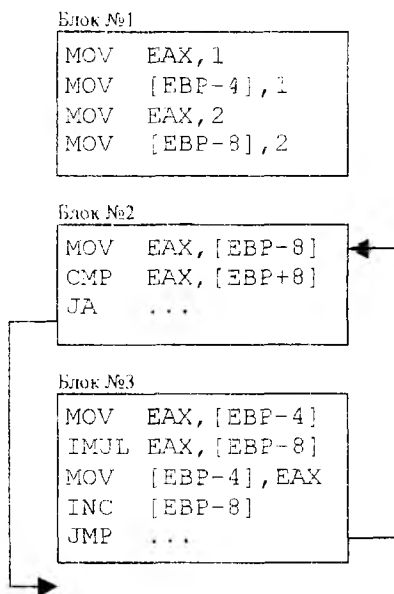


Рис. 6

В первом блоке происходит инициализация переменных, во втором – проверка на достижение конечного значения цикла  $i$ , наконец, в третьем – вычисление значения факториала на текущем шаге и увеличение переменной цикла. Это приблизительная схема, ее внешний вид может варьироваться и зависеть от реализации. Однако общая концепция и, самое главное, основные компоненты останутся прежними. В данном случае основными компонентами являются: некоторый цикл, внутри которого происходят вычисления, наличие некоторой кумулятивной переменной, перемножение ее внутри цикла. После анализа логической схемы, в частности, содержимого блоков, обозначив  $[EBP+n]$  в виде  $x, y, z$  (локальные переменные внутри функции), вычисления внутри блоков можно изобразить следующим образом.

Для блока 1:  $eax \leftarrow 1, x \leftarrow eax$  (аналогично  $x = 1$ ),  $eax \leftarrow 2, y \leftarrow eax$  (аналогично  $y = 2$ ).

Для блока 2:  $eax \leftarrow y, eax \geq z?$  (заменяется на  $y = z?$ ).

Для блока 3:  $eax \leftarrow x, eax \leftarrow eax * y, y \leftarrow y - 1$  (аналогично  $x = x * y$  и  $y = y - 1$ ).

Таким образом, можно выделить следующие характерные признаки: наличие двух переменных  $x$  и  $y$ , их инициализация, наличие цикла (в данном случае *for* переходит в *while*), условие, при котором выполняется

тело цикла, процедура умножения и увеличения счетчика цикла (обозначим блоки через  $A$ ,  $B$  и  $C$ ):

- 1) блок  $A$ ,  $x = 1$ ,  $y = 2$  обозначим соответственно как  $X(A, x)$  и  $Y(A, y)$ ;
- 2) блок  $B$ ,  $y > z?$  обозначим через  $K(B, Cond)$ ;
- 3) блок  $C$ ,  $x = x * y$ ,  $y = y + 1$  обозначим соответственно как  $Z(C, x, y)$  и  $J(C, y)$ .

Объединив указанные признаки в единое целое, добавив сюда же формулы определения присутствия цикла на указанном участке, получим следующее выражение для определения функции вычисления факториала:

$$F(f_{form}(A, B, C, Cond, x, y, z): -N(A, B, C, x, y, z), X(A, x), Y(A, y), Z(C, x, y), J(C, y), K(B, Cond), U(B, C), T(C, B)). \quad (5)$$

### Заключение

Конечно, все описанное выше сильно привязано к конкретному примеру с конкретной реализацией. В реальных приложениях вычисления могут происходить по иным правилам и без использования переменных в виде ячеек памяти – для этого достаточно использования только регистровых переменных. Кроме того, цикл может выполняться по убыванию, а не по возрастанию, как в примере; внутри цикла могут также встречаться другие команды и происходить другие вычисления. Реальные условия накладывают множество дополнительных ограничений. Нашей целью было показать работу самого механизма по выявлению семантических особенностей исполняемого кода на определенных участках программы. Этот подход не дает 100%-й гарантии, однако позволяет с большой долей вероятности определить наличие той или иной функции на конкретном участке программы. Дело в том, что отсутствует привязка к конкретному коду – так называемые программные "клише", что характерно для антивирусных детекторов. Подход оперирует абстрактными понятиями на семантическом уровне. Так, даже если функция вычисления факториала была бы написана с использованием одних лишь регистровых переменных, метод позволит выявить характерные признаки для данной конструкции, так как обязательно будет присутствовать регистр-счетчик, конструкция цикла, кумулятивный регистр и, собственно, процедура перемножения. На участке кода могут присутствовать другие вычисления, задействованы иные переменные, но при соблюдении приведенных выше условий можно с определенной уверенностью утверждать, что на данном участке программы происходит вычисление факториала некоторого числа.

**Список литературы:** 1. *C. Cifuentes, K. Gough* A methodology for decompilation / Proceedings of the XIX Conferencia Latinoamericana de Informatica, Buenos Aires, 1993, p.257-266. 2. *Водолажский А.С., Дюбко Г.Ф.* Преобразование машинных программ в алгоритмы, представленные на языке высокого уровня // Радиоэлектроника и информатика. 2002. № 3. С. 83-88. 3. *Братко И.* Программирование на языке Пролог для искусственного интеллекта. М: Мир, 1990. 560 с. 4. *C. Cifuentes, K. Gough* Decompilation of binary programs, Software - Practice and Experience. 1996. Vol. 25. №7, p.811-829. 5. *Дюбко Г.Ф., Валенда Н.А., Водолажский А.С.* Семантический подход к автоматическому анализу программ / Сб. науч. тр. по материалам 5-й Междунар. конфер. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации". Х: ХНУРЭ, 1999. С.360-362. 3.

Поступила в редколлегию 30. 11. 2003

УДК 004.423.26

Г.Ф. ДЮБКО, Е.Л. ЛЕЩИНСКАЯ

## РАЗРАБОТКА ГРАФОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГРАММАТИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ CASE-СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСЛЯТОРОВ

**1 Актуальность исследования.** До настоящего времени средства проектирования трансляторов принимают описание грамматики входной конструкции, не учитывая необходимости её повторного использования. Появление такой возможности может значительно ускорить процесс разработки самой грамматики и создаваемого на её основе анализатора. Под повторным использованием здесь понимается использование всей разработанной ранее грамматики или её части, описывающей применяемый ранее синтаксис документа, который предполагается использовать для представления входных данных вновь проектируемой системы.

**2 Постановка задачи. Цель исследования.** Формальные грамматики (ФГ) были введены Хомским еще в 70-х годах для проведения синтаксического анализа текстовой информации, т.е. проверки корректности ее структуры, построения формальной модели текста для её обработки в задачах трансляции. Существует несколько нотаций для записи ФГ. Это метаязык Хомского, Хомского-Шутценберже, форма Бэкуса-Наура, диаграммы Вирта [1,2]. Но все они обладают одним недостатком. Пусть стоит задача возможности повторного использования грамматики (наподобие широко известного механизма наследования), тогда необходимо ввести механизм для описания изменений, которые требуется внести в грамматику для того, чтобы она позволяла решить новую задачу. Существующие текстовые формы записи продукций значительно осложняют описание изменений, так как не позволяют адресовать ни продукцию, которую требуется модифицировать, ни тем более её отдельные элементы.

**3 Решение задачи.** Предлагаемый графический подход, представляющий грамматику в форме графа, делает это вполне возможным. Для демонстрации последнего необходимо ввести описание продукции в форме ориентированного взвешенного графа  $G(V,E)$ , где  $V \equiv V_T \cup V_N$  - множество вершин, состоящее из терминальных и нетерминальных символов;  $E \equiv E_B \cup E_F$  - множество дуг, состоящее из дуг, отражающих отношение НАЧИНАЕТСЯ-ПРЯМО-С и СЛЕДУЕТ-ПРЯМО-ЗА [1]. К тому же для сохранения уникальности каждой отдельной продукции необходимо ввести вес каждой дуги графа, идентифицирующий номер продукции. На рис. 1 приведено представление грамматики в виде последовательности продукций и графа.

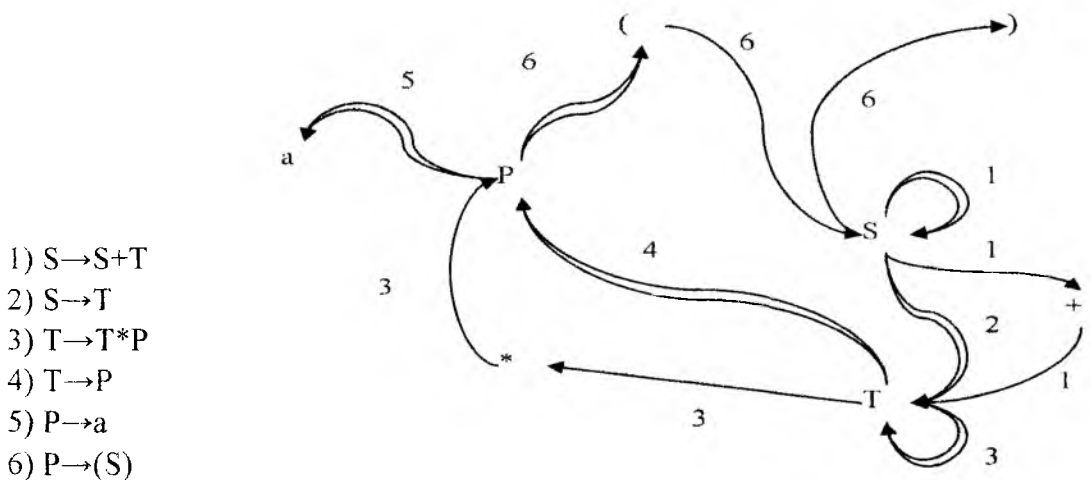


Рис. 1 – Две формы представления грамматики

Двойными стрелками обозначены дуги из множества  $E_B$ , а одинарными – из  $E_F$ , цифра над дугой обозначает номер продукции. В текстовой форме такой граф удобно представлять в виде двух матриц смежности (для двух типов связей).

Матрица  $E_B$  размерности  $m * n$   $n = |V| + 1$  ( $\epsilon$  всегда содержится по умолчанию в терминальном алфавите),  $m = |V_T|$  содержит на пересечении строки и столбца номер продукции, которая соответствует порождению подцепочки, начинающейся нетерминалом столбца, из нетерминала строки. Если грамматика не факторизована, то таких продукций может быть несколько. В табл. 1 приведена матрица  $E_B$  для грамматики на рис. 1.

Таблица 1

	S	P	T	a	(	)	*	+	$\epsilon$
S	1		2						
P				5	6				
T		4	3						

Матрица  $E_F$  размерности  $k * (k + 1)$ , где  $k = |V|$  для грамматики на рис. 1 приведена в табл. 2.

Таблица 2

	S	P	T	a	(	)	*	+	E
S						6	1		
P				5	6				
T							3		
A									
(	6								
)									
*		3							
+			1						

Семантическая информация может быть добавлена к грамматике с помощью атрибутов, связь между которыми также представлена в виде взвешенного графа  $A(T, R)$ .  $T \equiv T_F \cup T_O$ , где  $T_F$  – множество вершин-функций;  $T_O$  – множество вершин-операндов. Так как один нетерминал может встречаться в продукции более одного раза, то элементы  $T_O$  характеризуются также индексом, однозначно идентифицирующим нетерминал в продукции.

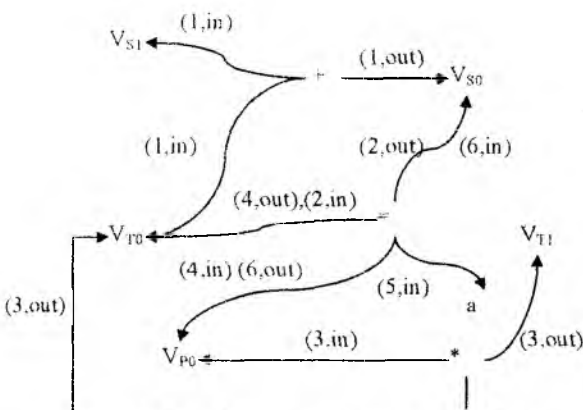


Рис. 2 Граф зависимости атрибутов в грамматике на рис. 1

Индекс операнда состоит из имени нетерминала, к которому относится атрибут и его порядковому номеру в продукции. Множество же  $R$  содержит дуги двух типов: дуга-операнд и дуга-результат, связывающие операнд-атрибут и операнд-результат с семантической функцией соответственно. Маркировка каждой дуги идентифицирует ту продукцию, к которой принадлежит набор из семантической функции и её конкретных операндов. На рис. 2 представлен граф для вычисления значения арифметического выражения, синтаксис которого распознается грамматикой на рис. 1.

Такой граф также представляется в виде матриц смежности, которые сопоставляются каждой продукции, что соответствует номеру в паре (*Номер продукции, Тип связи*) на рис. 2. Часть графа, соответствующая первой продукции (матрица смежности для графа зависимости атрибутов первой продукции), приведена в табл. 3.

Таблица 3

	V <sub>SO</sub>	V <sub>SI</sub>	V <sub>TO</sub>	+	*
+	out	In	in		

Вершинам-семантическим функциям необходимо сопоставить ссылку на реальную функцию, вызываемую для вычисления зависимых от нее атрибутов.

В соответствии с предложенной формой представления продукции и зависимости атрибутов объект-«грамматику» можно идентифицировать следующим образом:

```

AV grammar {
  Terminals
    a: TKA1;
  NoTerminals
    S(V='');
    T(V='');
    P(V='')
  EB-Matrix
  ;
  EF-Matrix
  ;
  AttrMatrixes
  1: ...;
  2: ...;
  ...
  SemanticFnc
    +: Plus(...){...};
    *: Mul(...){...};
}

```

Предлагаемый способ описания грамматики как объекта определенного класса был заимствован у М.Мерника [3], применившего такой подход для разработки средства генерации компиляторов/интерпретаторов LISA. Описанный в этой статье подход, в отличие от метода Мерника, позволяет также модифицировать отдельную продукцию грамматики и отменять её, а не только замещать или добавлять в грамматику новые правила.

Для использования уже описанной грамматики необходимо ввести механизм наследования. Грамматика *A* наследует все продукции (включая атрибуты) грамматики *B*, если иное не указано в матрицах наследования. Матрицы наследования – это матрицы *EB*, *EF* и *Attr*, содержащие маски, накладываемые на оригинальные матрицы наследуемого класса. Выполняя расширенную операцию XOR («исключающее или») EXOR над оригинальной матрицей и маской можно дезактивировать отдельные продукции или их части. Расширенной эта операция названа потому, что вместо двоичных чисел она позволяет работать с множествами в соответствии с

Таблица 4

таблицей истинности 4:

X	Y	X EXOR Y
∅	∅	∅
n <sub>1</sub> , ..., n <sub>k</sub>	m <sub>1</sub> ...m <sub>z</sub>	n <sub>1</sub> , ..., n <sub>k</sub> , m <sub>1</sub> ...m <sub>z</sub>
m <sub>1</sub> ...m <sub>z</sub>	n <sub>1</sub> , ..., n <sub>k</sub>	m <sub>1</sub> ...m <sub>z</sub> , n <sub>1</sub> , ..., n <sub>k</sub>
x <sub>1</sub> , ..., n ..., x <sub>s</sub>	n	x <sub>1</sub> , ..., x <sub>s</sub>

Если в ячейке матрицы – пустое множество, то исходная матрица не изменяется. Если же пересечение множеств в ячейке матрицы наследования и исходной матрицы не пусто, то дуги, соответствующие этому пересечению, рвутся, иначе результирующее множество является объединением множеств в соответствующей ячейке исходной матрицы и матрицы наследо-

вания. По умолчанию матрица наследования нулевая. О наследовании свидетельствует ключевое слово inherits.

```

AVExt grammar inherits AV{
  Terminals
    New Terminals
  NoTerminals
    New Nonterminals with attributes and their default values
  EB-Matrix
    Inheritance Matrix
  EF-Matrix
    Inheritance Matrix
  AttrMatrixes
    Inheritance Matrixes
  SemanticFnc
    New and overridden semantic functions}
    
```

**Пример №1.** наследования грамматики. Пусть есть грамматика Base, позволяющая генерировать бесконечное число правильно вложенных круглых и квадратных скобок.

```

S->[S] | (S) | ε
Base grammar{
  Terminals
    (, [, ];
  NoTerminals
    S(N=0)
  EB-Matrix
    
```

	S	[	]	(	)	ε
S		1		2		3

EF-Matrix

	S	[	]	(	)	ε
S			1		2	
[	1					
]						1
(	2					
)						

AttrMatrixes

1,2:

	N <sub>S0</sub>	N <sub>S1</sub>	Plus1	Plus0	+
Plus1	Out	in			

3:

	N <sub>S0</sub>	Plus1	Plus0	+
Plus0	out			

SemanticFnc

```

Plus1: PlusOne(n :in;res: out){
  res = n +1;
};
Plus0: Zero(res:out){
    
```

```

    res = 0;
}; }

```

Теперь, допустим, необходимо изменить грамматику так, чтобы можно было вывести цепочки, содержащие только круглые скобки, зато не только вложенные, но и их последовательности.  $S \rightarrow (S) \mid SS \mid \epsilon$

```

Ext grammar inherits Base{
EB-Matrix

```

	S	[	]	(	)	$\epsilon$
S	4	1				

```

EF-Matrix

```

	S	[	]	(	)	$\epsilon$
S	4 <sub>1</sub>		1			4 <sub>2</sub>
[	1					
]						
(						
)						

```

AttrMatrixes

```

4:

	N <sub>S0</sub>	N <sub>S1</sub>	N <sub>S2</sub>	Plus1	Plus0	+
+	out	in	in			

```

SemanticFnc

```

```

+ : Plus(x,y: in;res :out){
    res = x+y;
}; }

```

Следует отметить, что заданная таким образом грамматика не определяет механизм анализа текста. Он может быть как нисходящим, так и восходящим в зависимости от свойств, которым удовлетворяют продукции, например, левая рекурсия или отсутствие  $\epsilon$  правил.

**Пример №2.** Пусть имеется грамматика для описания арифметического выражения, содержащего операции сложения, умножения и скобки. Операнд -- переменная  $a$ .

Грамматика в канонической форме:

```

A->A+M (1) | M (2)
M->M*T (3) | T (4)
T->(A) (5) | a (6)

```

```

AV grammar {

```

Terminals

a: TKA1;

NoTerminals

A;

M;

T;

EB-Matrix

	A	M	T	a	(	)	+	*	$\epsilon$
A	1	2							
M		3	4						
T				6	5				

EF-Matrix

	A	M	T	a	(	)	+	*	ε
A						5	1		
M								3	1,2
T									3,4
A									6
(	5								
)									5
+		1							
*			3						

AttrMatrixes

SemanticFnc

}

Теперь преобразуем грамматику так, чтобы она позволяла выводить операции – и / с приоритетом + и \*. Операндом может быть функция  $a(a_1, \dots, a_n)$  и элемент массива  $a[a_1, \dots, a_n]$ .<sup>1</sup>

Индекс внизу продукции означает её номер в матрицах отношений  $E_B$  и  $E_F$

$A \rightarrow A+M \mid A-M \text{ (7)} \mid M$

$M \rightarrow M*T \mid M/T \text{ (8)} \mid T$

$T \rightarrow a(P) \text{ (9)} \mid a[aB] \text{ (10)} \mid a$

$P \rightarrow \varepsilon \text{ (11)} \mid aB \text{ (12)}$

$B \rightarrow \varepsilon \text{ (13)} \mid ,aB \text{ (14)}$

AVExt grammar inherits AV{

NoTerminals

P,B;

EB-Matrix

	A	M	T	P	B	a	(	)	+	*	-	/	[	]	,	ε
A	7															
M		8														
T						9,10										
P						12										11
B															14	13

EF-Matrix

	A	M	T	P	B	a	(	)	+	*	-	/	[	]	,	ε
A											7	8				
M																7
T																8
P								9						10		
B						10,12,14		9					10 <sub>1</sub>			12,14
a																
(				9												
)																9
+																
*																
-		7														
/			8													
[						10										
]																10
,						14										

}

**Выводы.** Предложенный в статье подход к представлению формальной грамматики упорядочивает продукции и нетерминалы в них, представляя грамматику как совокупность нескольких взвешенных ориентированных графов. Это позволяет адресовать отдельные позиции грамматики и легко модифицировать её с помощью введенного механизма наследования и операции над множествами EXOR. Такой способ формального описания грамматики полностью сводим к её классическому представлению, введенному Хомским. С одной стороны, это является преимуществом, так как подход оказывается применим ко всем существующим классическим и широко используемым в задачах трансляции типам формальных грамматик. С другой стороны, такие недостатки формальных грамматик, как слабая возможность присоединения семантической информации, не затрагивались при решении поставленной в статье задачи и требуют дополнительного рассмотрения. Разработанный же подход может с успехом применяться для создания САПР широкого класса трансляторов.

**Список литературы:** 1. Хантер Р. Проектирование и конструирование компиляторов. М.: Финансы и статистика, 1984. 352 с. 2. Jacobs Grune Ceriel Parsing Techniques. A Practical Guide – DICK, 1998. 318 p. 3. Mernik M., Lenic M., Avdicauevic E., Zumer V. Multiple Attribute Grammar Inheritance // Second workshop on attribute grammars and their applications – WAGA 99. 1999. P.57-76.

Поступила в редколлегию 05.04.2004

УДК 612.03

С.А. СЕРИКОВ

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Хаотическая динамика свойственна для установившихся режимов многих нелинейных детерминированных диссипативных систем. Причиной возникновения хаотических режимов является локальная неустойчивость фазовых траекторий аттрактора системы, который характеризуется наличием положительных показателей Ляпунова. При этом сумма показателей Ляпунова для диссипативных систем отрицательна.

Особенностью таких систем является их высокая чувствительность к заданию начальных условий. Поскольку начальные условия могут быть оценены только приближенно, что всегда является следствием измерений, то задача прогнозирования поведения системы решается приближенно даже на очень коротком отрезке времени, а на больших временных интервалах становится неразрешимой. При этом эволюция таких систем однозначно определяется динамическими законами, и какие бы то ни было случайные воздействия отсутствуют.

В силу очень широкого распространения хаотических процессов в природе и технике актуальной является задача разработки эффективных методов и средств их прогнозирования. Некоторые особенности таких процессов позволяют предположить, что достаточно продуктивным окажется применение для этих целей искусственных нейронных сетей.

### Предпосылки для прогнозирования хаотических временных рядов

Пусть временной ряд экспериментальных данных  $\{X\}_{i=0}^{N-1}$  представляет собой отсчеты физической величины, которая является одной из переменных некоторой динамической системы, находящейся в стационарном режиме.

При наличии достаточно большого количества экспериментальных данных ( $N \rightarrow \infty$ ), используя метод запаздывания, можно провести реконструкцию аттрактора данной системы в виде некоторого топологически эквивалентного ему объекта, заданного множеством векторов состояния ( $\vec{x}_k$ ) в  $M$ -мерном фазовом пространстве:

$$\vec{x}_k = (X_k, X_{k-d}, \dots, X_{k-(M-1)d}), \quad (1)$$

где  $k = 0 \dots K-1$ ;  $d$  - шаг выборки;

$K = N - (M-1) \cdot d$  - общее количество векторов.

Предполагается, что интервал времени между отсчетами исходной физической величины ( $\Delta t$ ) соответствует условию:  $\Delta t < 1/(a \cdot f_{\max})$ , где  $a$  - целое число ( $a \geq 3$ );  $f_{\max}$  - верхняя граничная частота сигнала.

При этом, согласно теореме о вложении, доказанной Мане, размерность фазового пространства системы ( $M$ ) не превышает величины  $2 \cdot D + 1$ , где  $D$  - размерность аттрактора.

Если анализируемый сигнал не является случайным шумом и размерность «естественного» фазового пространства системы не слишком велика по сравнению с  $M$  векторы  $\vec{x}_k$  будут группироваться вблизи некоторой гиперповерхности, т.е. формировать некоторое множество размерности меньшей, чем размерность всего лагового пространства.

Адекватное описание динамики системы на аттракторе можно обеспечить системой дифференциальных уравнений размерности  $M$  или  $M$ -мерным отображением в случае дискретного времени, как это имеет место в рассматриваемом случае.

Идея реконструкции дифференциальных уравнений или отображений на основании анализа реализаций заключается в следующем. Сначала с учетом априорной информации о сис-

теме выбирается некоторая форма уравнений, содержащая набор неопределенных коэффициентов. Затем методом наименьших квадратов находятся коэффициенты, обеспечивающие описание наблюдаемой реализации моделью, оптимальное с точки зрения минимума суммы квадратов невязок.

Очевидно, что даже в случае успешного определения величин  $M$  и  $d$  такой подход к моделированию динамических систем имеет ряд недостатков. Необходимо иметь априорную информацию о структуре системы, породившей временной ряд. Модель описывает поведение системы только в области аттрактора, в то время как часто представляют интерес и траектории, обеспечивающие и приближение к аттрактору, и выход в установившийся режим. К тому же данный подход возможно реализовать только при наличии экспериментальных данных высокого качества, представляющих собой гладкие функции при малом уровне шумов.

В ряде случаев преодоление указанных недостатков обеспечивает моделирование динамической системы при помощи искусственной нейронной сети [1].

В случае успешной реконструкции аттрактора системы однозначное предсказание следующего значения временного ряда возможно согласно выражению:

$$X_{k+d} = F(\vec{x}_k) = F(X_k, X_{k-d}, \dots, X_{k-(M-1)d}), \quad (2)$$

где  $F(\bullet)$  - некоторая нелинейная функция.

Таким образом, прогнозирование временного ряда сводится к типовой задаче нейроанализа - интерполяции функции от  $M$  переменных.

После удаления шумов из исходных данных и приведения ряда к стационарному виду путем удаления составляющих малой размерности наиболее ответственным этапом является выбор размерности лагового пространства ( $M$ ) и шага выборки ( $d$ ).

### Оценка оптимального шага выборки

Оптимальным, с точки зрения оценки статистических характеристик восстановленного аттрактора, является такой шаг выборки, который с одной стороны обеспечивает наибольшую величину минимального характерного размера аттрактора, а с другой сохраняет корреляцию между компонентами реконструированного вектора состояния, что обеспечивает сохранение тонкой структуры восстановленного аттрактора. Выбор  $d$  должен быть таким, чтобы интервал  $M \cdot d$  соответствовал характерному временному периоду протекания процесса.

Многими авторами признается [2], что оптимальным является шаг выборки (в отсчетах ряда)

$$d_{opt} \approx \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{T_x}{4 \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

где  $\tau$  - оптимальная временная задержка в секундах;

$\Delta t$  - шаг квантования по времени экспериментальных данных;

$T_x = 1/f_x$  - характерный временной масштаб исследуемого сигнала;

$f_x$  - наиболее интенсивная спектральная составляющая сигнала.

Существуют и другие способы выбора  $d_{opt}$ , в частности основанные на расчете автокорреляционной функции сигнала или на расчете взаимной информации между исходной последовательностью значений временного ряда и последовательностью, сдвинутой на  $d$  отсчетов.

Для того чтобы минимальный характерный размер аттрактора превышал уровень шумов, на минимальную величину  $d$  накладывается ограничение:

$$d \geq d_{\min} \approx \frac{T_x}{\Delta t \cdot \sqrt{q}} = \frac{1}{\Delta t \cdot \sqrt{q} \cdot f_x}, \quad (4)$$

где  $q$  - отношение сигнал/шум по порядку величины.

Грубую, сильно завышенную оценку верхней границы величины  $d$  можно представить в виде:

$$d < d_{\max} \approx \frac{q \cdot T_x}{(M-1) \cdot \Delta t}. \quad (5)$$

Это условие обеспечивает сохранение корреляции между всеми компонентами  $M$ -мерных векторов  $(\vec{x}_k)$ , что соответствует наличию корреляции на интервале  $T = (M-1) \cdot d$ .

Одновременно условия (4) и (5) выполняются только в том случае, если размерность вложения аттрактора удовлетворяет ограничению

$$M < M_{\max} \approx q^{3/2} + 1. \quad (6)$$

В противном случае исследуемый сигнал невозможно отличить от шума.

### Оценка размерности системы

Размерность лагового пространства  $M$  должна быть равна минимальной размерности пространства, в которое можно вложить аттрактор исследуемой динамической системы без самопересечений его траекторий.

Одним из способов оценить размерность вложения является анализ сингулярного спектра данного временного ряда. При этом размерность будет равна числу собственных значений автоковариационной матрицы, отличных от уровня шумов [2].

Другим способом является расчет корреляционной размерности аттрактора, которая является хорошим приближением хаусдорфовой (фрактальной) размерности  $D$ . Согласно алгоритму Грассбергера – Прокаччиа корреляционная размерность ( $D_c$ ) определяется как показатель степени в степенном законе:

$$C(r) \sim r^{D_c}, \quad (7)$$

где  $C(r)$  - корреляционный интеграл, являющийся функцией распределения вероятностей для расстояний между точками  $(r)$ , лежащими на исследуемом аттракторе.

Справедливость приведенного степенного закона ограничена значениями  $r$ , достаточно малыми по сравнению с размерами аттрактора. С другой стороны конечное число точек на аттракторе и наличие шумов накладывают ограничение на минимальное значение  $r$ .

Таким образом, оценку размерности аттрактора можно получить как тангенс угла наклона прямой, аппроксимирующей график корреляционного интеграла в двойном логарифмическом масштабе в некотором диапазоне изменения расстояний между точками  $r \in [r_{\min}, r_{\max}]$ , называемом скейлинговым интервалом:

$$D_c = \frac{d[\ln C(r)]}{d[\ln(r)]} \approx \frac{\ln(C_2) - \ln(C_1)}{\ln(\mu)}, \quad (8)$$

где  $C_1, C_2$  - значения корреляционного интеграла при  $r=r_1$  и  $r=r_2$  соответственно;  $\mu = r_2/r_1$ .

Оценка величины  $C(r)$ , в свою очередь, может быть получена из выражения:

$$C(r) = \frac{2}{K \cdot (K-1)} \cdot \sum_{i=0}^{K-2} \sum_{j=i+1}^{K-1} \Theta(r - \|\bar{x}_i - \bar{x}_j\|), \quad (9)$$

где  $\Theta(\dots)$  - функция Хэвисайда;

$$\|\bar{x}_i - \bar{x}_j\| = \sqrt{\sum_{m=0}^{M-1} |X_{im} - X_{jm}|^2}; \quad (10)$$

$X_{im}$  -  $m$ -я координата  $i$ -й точки.

Существуют оптимальные значения  $r_1$  и  $\mu$ , которые обеспечивают минимум ошибки определения  $D_c$  [2]. При фиксированном количестве точек ( $K$ ) и размерности пространства ( $M$ )  $r_1^{opt}$  определяется формулой:

$$r_1^{opt} = \left( \frac{M \cdot B_M}{2 \cdot K \cdot A_M \cdot (\mu^{opt} - 1)} \right)^{\frac{2}{M+2}}, \quad (11)$$

где  $A_M = \frac{M \cdot \Gamma\left(\frac{M}{2} + 1\right)}{\sqrt{\pi} \cdot \Gamma\left(\frac{M+3}{2}\right)}$ ;  $B_M = \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Gamma\left(\frac{M}{2} + 1\right)}}{\pi^{M/4}}$ ;  $\Gamma(\dots)$  - гамма - функция.

Уровень шумов в исходной последовательности не должен превышать значения  $r_1^{opt}$ .

В свою очередь  $\mu^{opt} = r_2^{opt} / r_1^{opt}$  при заданной размерности пространства находится из следующего трансцендентного уравнения

$$M \cdot (\mu^{opt} \cdot \ln(\mu^{opt}) - \mu^{opt} + 1) = 2 \cdot (\mu^{opt} - 1). \quad (12)$$

Рассчитаем корреляционную размерность аттрактора для нескольких размерностей фазового пространства  $\bar{M} = 2, 3, 4, \dots$ . Если динамическая система, породившая данный временной ряд, является конечномерной, то  $D_c(\bar{M})$  вначале будет возрастать с ростом  $\bar{M}$ , а затем выйдет на постоянный уровень, соответствующий реальной корреляционной размерности аттрактора динамической системы. Величина  $\bar{M}$ , при которой  $D_c(\bar{M})$  выходит на постоянный уровень, соответствует размерности пространства вложения аттрактора. Это и есть оптимальная размерность лагового пространства  $M$ .

Независимую оценку величины  $M$  можно получить, используя соотношение

$$M = [2 \cdot D_c + 1] + 1, \quad (13)$$

где квадратные скобки означают целую часть числа.

В том случае, если исследуемый сигнал представляет собой шум, то корреляционная размерность с ростом  $\bar{M}$  будет неограниченно возрастать, либо насыщение наступит при  $\bar{M} > 10$ , что скорее всего является следствием проявления граничного эффекта (систематических ошибок, связанных с влиянием границ аттрактора исследуемой системы).

Для обеспечения состоятельности оценки корреляционной размерности длина исследуемой реализации должна быть такой, чтобы за этот промежуток времени фазовая траектория «посетила» бы многократно все области исследуемого аттрактора. Очевидно, что число то-

чек  $K$  должно быть тем больше, чем выше размерность аттрактора. Согласно оценке, приведенной в [3], минимально - необходимое число точек на исследуемом аттракторе

$$K_{\min} = 10^{0,5 \cdot D_C} \quad (14)$$

В этом случае минимально - необходимая длина ряда экспериментальных данных составляет

$$N_{\min} = 10^{0,5 \cdot D_C} + [2 \cdot D_C + 1] \cdot d \quad (15)$$

Максимальная величина размерности, которую допустимо оценивать, имея в распоряжении  $K$  точек на аттракторе  $D_C^{\max} \cong 2 \cdot \lg K$ .

### Оценка горизонта прогноза

Характерное время, на которое может быть предсказано поведение системы, обратно пропорционально энтропии Колмогорова. Если энтропия достигает нуля, то система становится полностью предсказуемой. Так будет в случае регулярных процессов. Для истинно случайных процессов энтропия неограниченно велика. Энтропия системы в режиме странного аттрактора положительна, но имеет конечное значение. Таким образом численное значение энтропии является количественной характеристикой степени хаотичности системы.

Хорошее приближение к энтропии Колмогорова дает корреляционная энтропия, которую гораздо проще определить по экспериментальным данным.

Будем рассматривать корреляционный интеграл не только как функцию расстояния ( $r$ ), но и как функцию размерности фазового пространства ( $\tilde{M}$ ). В этом случае корреляционная энтропия может быть вычислена из выражения

$$K(r, \tilde{M}) = \ln \frac{C(r, \tilde{M})}{C(r, \tilde{M} + 1)} \quad (16)$$

в приемлемом диапазоне значений  $r$  и  $\tilde{M}$ , когда величина  $K(r, \tilde{M})$  выходит на некоторый постоянный уровень.

Другой важной характеристикой аттрактора, с которой непосредственно связан горизонт предсказуемости хаотической системы, является спектр показателей Ляпунова, который характеризует степень чувствительности системы к заданию начальных условий. За время, обратно пропорциональное старшему показателю Ляпунова, система полностью теряет информацию о своем начальном состоянии, таким образом прогноз ее динамики на время, превышающее этот интервал, в принципе невозможен.

Энтропия системы положительна в том и только в том случае, когда фазовая траектория в среднем экспоненциально неустойчива на аттракторе, а значит, спектр показателей Ляпунова такой траектории обязан содержать положительный показатель. В типичных случаях энтропия равна сумме положительных показателей Ляпунова.

Известная методика расчета показателей Ляпунова по временному ряду экспериментальных данных достаточно трудоемка, трудноформализуема и требует еще большего объема данных, чем процедура расчета корреляционной размерности. Так, если для надежной оценки размерности нужно  $K$  точек, то для оценки ляпуновского показателя в той же ситуации – порядка  $K^2$  [3]. Все это ограничивает использование показателей Ляпунова для оценки горизонта прогноза.

### Моделирование исходных данных

Для оценки эффективности рассмотренного подхода к исследованию хаотических систем будем использовать следующие модели:

1) отображение вида

$$X_{i+1}^L = a \cdot X_i^L \cdot (1 - X_i^L), \text{ где } a = 3,7, X_0^L = 0,7; \quad (17)$$

2) отображение вида

$$X_{i+1}^D = \begin{cases} \frac{b}{a} \cdot X_i^D, & X_i^D \leq a \\ \frac{b}{1-a} \cdot (1 - X_i^D), & X_i^D > a \end{cases}, \text{ где } a = 0,7, b = 0,8, X_0^D = 0,7; \quad (18)$$

3) отображение Хенона

$$X_{i+1}^{HN} = 1 - a \cdot X_i^2 + b \cdot X_{i-1}, \text{ где } a = 1,4, b = 0,3; \quad (19)$$

4) временной ряд  $X_i^{RS} = x(i \cdot \Delta t)$ , где  $\Delta t = 0,5$ ;  $x(t)$  - решение системы Ресслера:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -y - z \\ \frac{dy}{dt} = x + a \cdot y \\ \frac{dz}{dt} = b + x \cdot z - c \cdot z \end{cases}, \text{ где } a = 0,2, b = 0,2, c = 5; \quad (20)$$

5) временной ряд  $X_i^{LR} = x(i \cdot \Delta t)$ , где  $\Delta t = 0,02$ ;  $x(t)$  - решение системы Лоренца:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\lambda \cdot x + \lambda \cdot y \\ \frac{dy}{dt} = -x \cdot z + r \cdot x - y \\ \frac{dz}{dt} = x \cdot y - b \cdot z \end{cases}, \text{ где } \lambda = 10; b = 8/3; r = 28. \quad (21)$$

Каждый временной ряд имеет  $N = 16384$  отсчета.

Нормировку полученных временных рядов проведем согласно выражению:

$$\tilde{X}_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X}, \quad (22)$$

где  $\bar{X} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} X_i$ ;  $\sigma_X^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (X_i - \bar{X})^2$ .

В таблице приведены результаты расчета оптимального шага выборки ( $d_{opt}$ ), размерности лагового пространства ( $M_{opt}$ ) и корреляционной энтропии ( $K$ ) для выбранных моделей хаотических систем.

Таблица

Параметры	$\{\tilde{X}^L\}_{i=0}^{N-1}$	$\{\tilde{X}^D\}_{i=0}^{N-1}$	$\{\tilde{X}^{HN}\}_{i=0}^{N-1}$	$\{\tilde{X}^{RS}\}_{i=0}^{N-1}$	$\{\tilde{X}^{LR}\}_{i=0}^{N-1}$
$d_{opt}$	1	1	1	2	5
$M_{opt}$	4	10	4	6	6
$K$	0,408	0,709	0,482	0,216	1,286

Из полученных временных рядов сформируем обучающие и тестовые последовательности, содержащие соответственно  $\frac{3}{4}$  и  $\frac{1}{4}$  от общего количества векторов соответствующей размерности.

### Прогнозирование временного ряда

Для оценки эффективности прогнозирования будем использовать трехслойную ИНС прямого распространения, структурная схема которой приведена на рис. 1. Функционирование данной сети описывает следующее выражение:

$$y = \sum_{h=0}^{H-1} w_h^{(2)} \cdot f \left( \sum_{m=0}^{M-1} w_{hm}^{(1)} \cdot x_m + b_h^{(1)} \right) + b^{(2)} = W^{(2)} \cdot f \left( W^{(1)} \cdot X + B^{(1)} \right) + B^{(2)}, \quad (25)$$

где  $W^{(1)} = \left\| w_{hm}^{(1)} \right\|$  - матрица весов нейронов скрытого слоя;

$W^{(2)} = \left\| w_h^{(2)} \right\|$  - вектор - столбец весов выходного нейрона;

$B^{(1)} = \left\| b_h^{(1)} \right\|$  - вектор - столбец смещений нейронов скрытого слоя;

$B^{(2)} = b^{(2)}$  - смещение выходного нейрона. Нейроны скрытого слоя имеют гиперболическую тангенциальную активационную функцию:

$$f(\alpha) = \frac{2}{1 + e^{-2\alpha}} - 1. \quad (26)$$

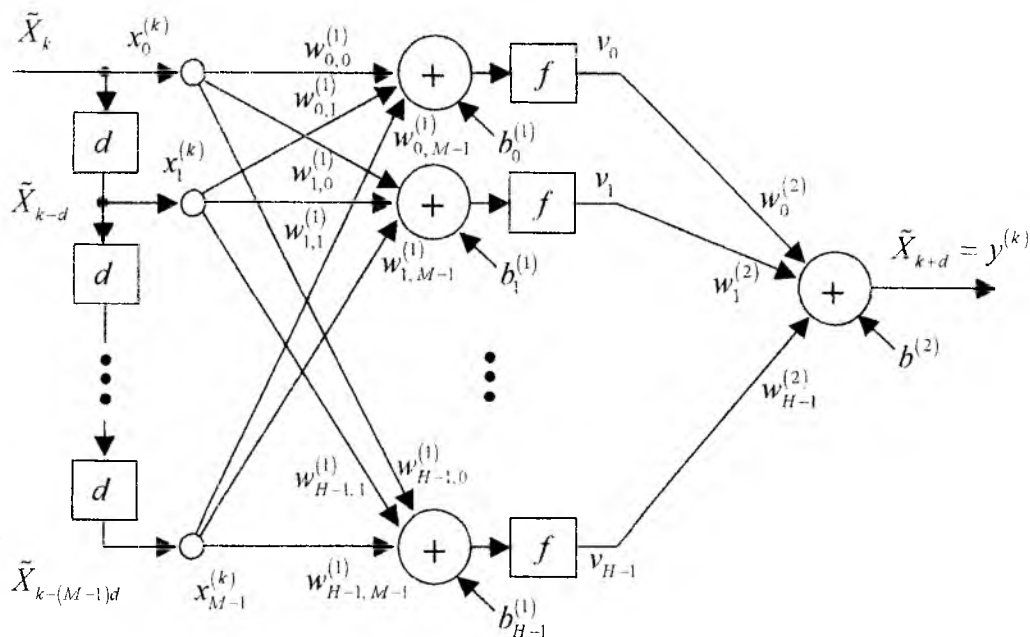


Рис. 1. Структурная схема ИНС прямого распространения

Очевидно, что количество нейронов первого слоя определяется размерностью лагового пространства и равно  $M = M_{opt}$ . Количество нейронов в скрытом слое будем выбирать, в соответствии с теоремой Колмогорова [4],  $H = 2 \cdot M + 1$ .

Наиболее простая конфигурация трехслойной сети без обратных связей обеспечит наибольшую чувствительность к выбору параметров  $M$  и  $d$ , что и позволит исследовать методику их оценки. Для «боевого» моделирования динамических систем лучше использовать рекуррентные сети, что, в частности, позволит нивелировать возможную ошибку определения размерности системы.

Для определения весовых коэффициентов и смещений нейронов сети будем использовать метод обратного распространения ошибки, алгоритм Левенберга – Марквардта.

После ста эпох обучения сети прогнозированию значений ряда на  $d$  отсчетов с использованием обучающей последовательности был осуществлен многократный прогноз значений тестовой последовательности, когда в качестве исходных данных кроме наблюдавшихся значений использовались и результаты предыдущих прогнозов с меньшим временем упреждения.

Среднее квадратичное значение ошибки прогнозирования ( $S$ ) на 1 шаг вперед ( $d$  отсчетов), усредненное по шести попыткам обучения при размерностях лагового пространства  $M_{opt} - 1$ ,  $M_{opt}$  и  $M_{opt} + 1$  для выбранных временных рядов приведено на рис.2. Средние квадратичные значения ошибки прогнозирования при упреждении  $(1 \div 8) \cdot d$  для рассмотренных ранее моделей хаотических систем приведены на рис. 3 – 7.

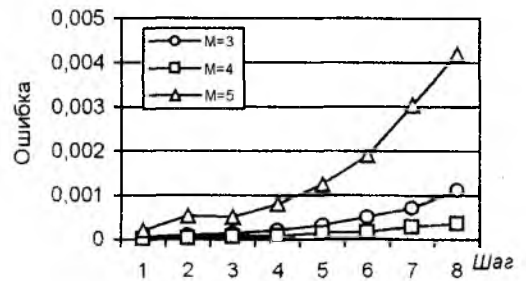
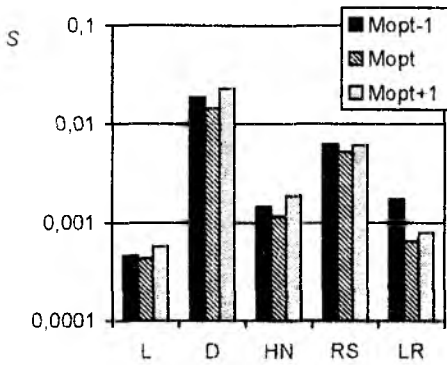


Рис. 2. Ошибка прогнозирования временных рядов  $\{\tilde{X}^L\}$ ,  $\{\tilde{X}^D\}$ ,  $\{\tilde{X}^{HN}\}$ ,  $\{\tilde{X}^{RS}\}$  и  $\{\tilde{X}^{LR}\}$

Рис. 3. Ошибка прогнозирования ряда  $\{\tilde{X}^L\}$

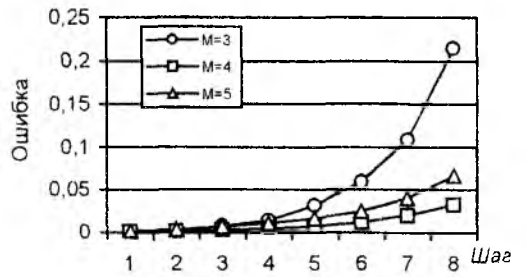
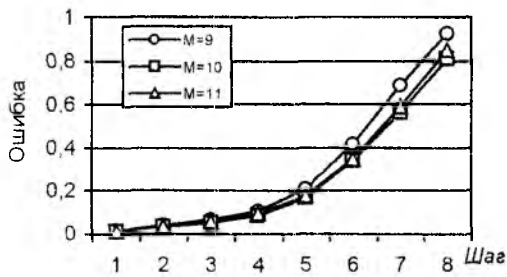


Рис. 4. Ошибка прогнозирования ряда  $\{\tilde{X}^D\}$

Рис. 5. Ошибка прогнозирования ряда  $\{\tilde{X}^{HN}\}$

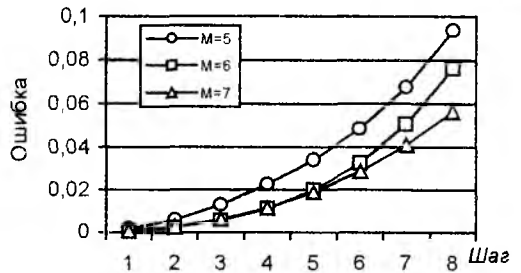
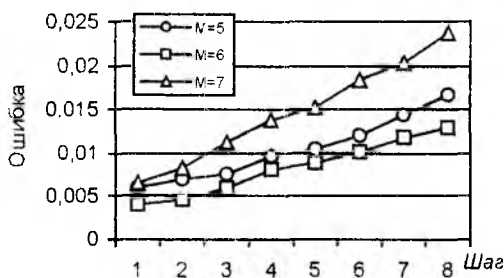


Рис. 6. Ошибка прогнозирования ряда  $\{\tilde{X}^{RS}\}$

Рис. 7. Ошибка прогнозирования ряда  $\{\tilde{X}^{LR}\}$

На рис.8 приведены значения показателя роста ошибки ( $p$ ) при многократном прогнозе на  $k$  шагов, полученные в результате аппроксимации среднеквадратического значения ошибки выражением  $a \cdot \exp(p \cdot k) + b$ .

Прогнозирование осуществлялось для размерностей входных векторов сети равных оптимальным размерностям лагового пространства  $M_{opt}$  соответствующих временных рядов, а также для размерностей выше и ниже оптимальной.

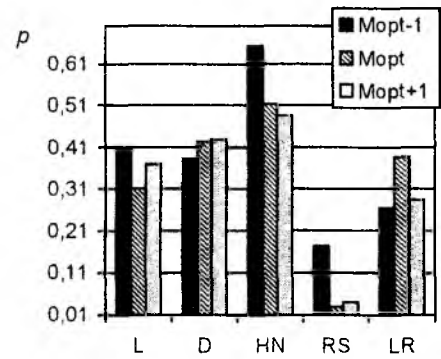


Рис. 8. Показатель роста ошибки

### Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что рассмотренная методика определения размерности лагового пространства и шага выборки дает оптимальный либо близкий к оптимальному результат.

Путем совместного анализа размерности ряда и его корреляционной энтропии в ряде случаев возможно получить предварительную оценку степени прогнозируемости. Так, в нашем случае, минимальный показатель роста ошибки имеет ряд  $\{\tilde{X}^{RS}\}$ , который характеризуется минимальным значением корреляционной энтропии. Максимальную ошибку одношагового прогноза имеют ряды  $\{\tilde{X}^D\}$  и  $\{\tilde{X}^{RS}\}$ , которым свойственна максимальная размерность лагового пространства.

Вместе с тем необходимо отметить, что определение рассмотренных стохастических характеристик временных рядов сопряжено с рядом трудностей, таких как очистка сигналов от шумов, определение скейлингового интервала, оценка необходимого количества точек на аттракторе и др., не говоря уже о вычислительной сложности, которая делает практически невозможным эффективное исследование аттракторов с размерностью выше  $6 \div 10$ . Это ограничивает применимость рассмотренной методики и вносит элемент субъективизма в результат.

**Список литературы:** 1. *Knowledge – based neurocomputing* / Ian Cloete and J.M. Zurada. Massachusetts Institute of Technology, 2000. 467 p. 2. *Усик П. В.* Разработка и внедрение фрактальных методов анализа хаотических систем. Дисс... канд. физ. – мат. наук. Радиоастрономический институт НАН Украины. Харьков, 1999 г. 3. *Кузнецов С.П.* Динамический хаос. М.: Физматлит, 2003. 287 с. 4. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

Поступила в редколлегию 21.11.2003

УДК 004.8:004.89

И.В. ВАРФОЛОМЕЕВА

## РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПА ВНЕШНЕГО ДОПОЛНЕНИЯ РАКЗ-МОДЕЛЕЙ ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

### Введение

В настоящее время перспективным в знаниеориентированном моделировании интеллектуальных умений человека (успешно принимать решения в условиях неопределённости, опираясь на интуицию, знания и опыт) признано индуктивное направление [1,2].

Индуктивный метод *разноуровневых алгоритмических квантов знаний* (РАКЗ-метод) [3-6] обладает рядом преимуществ по сравнению с известными ориентированными на знания методами принятия решений. Важным преимуществом РАКЗ-метода является обеспечение экстраполяционных свойств квантовых моделей принятия решений на основе принципа внешнего дополнения, что позволило решить центральную проблему всех индуктивных методов, состоящую в адекватном соотношении сложности модели с объёмом обучающей выборки.

В РАКЗ-моделях в качестве внешнего дополнения сформулированы и доказаны теоремы, обосновывающие способ адекватного соотношения сложности искомым импликативных и/или функциональных моделей объекта принятия решений (ОПР) с объемами обучающих выборок. Следует заметить, что теоремы доказаны для упрощенной квантовой модели объекта принятия решений.

### Анализ публикаций

В практическом плане задача соотношения сложности квантовой модели с объёмом обучающей выборки сведена к обеспечению разработчиков систем искусственного интеллекта расчетной методикой для формирования и оценивания обучающей *таблицы эмпирических данных* (ТЭД) с целью гарантированного индуктивного построения *базы квантов знаний* (БкЗ) как системы закономерностей проблемной области требуемого качества. Для этого формулируют индуктивный принцип внешнего дополнения при оценке и поиске в отдельности импликативных и функциональных закономерностей [7] по обучающим квантам знаний (*k*-знаниям) на основе формулировки и доказательства соответствующих основных теорем [3-6].

Для оценки достоверности гипотез о существовании импликативных и функциональных закономерностей определённого ранга *r* в заданной обучающей выборке *k*-знаний (ТЭД) фиксированного объёма упрощают формальную модель ОПР вида:

$$\left. \begin{aligned} X^1 &= \left\{ \alpha_1^1 | \sigma(\alpha_1^1), \dots, \alpha_{\eta_1}^1 | \sigma(\alpha_{\eta_1}^1) \right\}, \dots, X^n = \left\{ \alpha_1^n | \sigma(\alpha_1^n), \dots, \alpha_{\eta_n}^n | \sigma(\alpha_{\eta_n}^n) \right\}, \quad \alpha_i^j \in \{0,1\}, \\ Y &= [d^{(1)} | \dots | d^{(n)}] = \left[ \alpha_1^1 | \sigma(\alpha_1^1), \dots, \alpha_{\eta_1}^1 | \sigma(\alpha_{\eta_1}^1) | \dots | \alpha_1^n | \sigma(\alpha_1^n), \dots, \alpha_{\eta_n}^n | \sigma(\alpha_{\eta_n}^n) \right], \\ B^{(1)} &= \left\{ \beta_1^1 | \sigma(\beta_1^1), \dots, \beta_{\eta_1}^1 | \sigma(\beta_{\eta_1}^1) \right\}, \dots, B^{(n)} = \left\{ \beta_1^n | \sigma(\beta_1^n), \dots, \beta_{\eta_n}^n | \sigma(\beta_{\eta_n}^n) \right\}, \quad \beta_i^j \in \{0,1\}, \\ B^n &= B^{(1)} \times B^{(2)} \times \dots \times B^{(n)}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $X^{(j)}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) - множество значений признаков ОПР;

$\alpha_i^j$  ( $i = 1, 2, \dots, \eta_j$ ) -  $i$ -е значение  $X^{(j)}$ -го признака;

$\sigma(\alpha_i^j)$  - показатель достоверности значения  $\alpha_i^j$ ;

$Y$  - доменизированный вектор, представляющий собой квант знаний об ОПР;

$B^{(j)}$  - пространство  $j$ -го признака РАКЗ-модели ОПР;

$B^n$  – квантовое пространство РАКЗ-модели ОПР.

Упрощение модели ОПР осуществляют путем перехода от доменного пространства РАКЗ-моделей  $B^n$  к расширенному булевому пространству  $B^N$  размерности  $N = \sum_{j=1}^n \eta_j$  без учета доменов и показателей достоверности  $\sigma(\beta_i^j)$  их компонентов  $\beta_i^j$ . Для построения расширенного множества  $B^N$  конкатенируют множества  $B^{(j)}$ :

$$B^{(1)} = \{\beta_1^1 | \sigma(\beta_1^1), \dots, \beta_{\eta_1}^1 | \sigma(\beta_{\eta_1}^1)\}, \dots, B^{(n)} = \{\beta_1^n | \sigma(\beta_1^n), \dots, \beta_{\eta_n}^n | \sigma(\beta_{\eta_n}^n)\}, \quad \beta_i^j \in \{0,1\}, \quad (2)$$

$$B^N = \text{CON}_{j=1}^n \langle B^{(j)} \rangle = \langle B^{(1)}, B^{(2)}, \dots, B^{(n)} \rangle = \langle \beta_1^1, \beta_2^1, \dots, \beta_{\eta_1}^1, \beta_{\eta_1+1}^2, \dots, \beta_{\eta_1+\eta_2}^2, \dots, \beta_{\eta_1+\eta_2+\dots+\eta_{j-1}}^j, \dots, \beta_N^n \rangle, \quad (3)$$

в результате чего получают множество  $B^N$ , элементы которого отвечают значениям всех признаков  $X_1, X_2, \dots, X_n$  ОПР.

Предполагают, что точки пространства  $B^N$  отвечают множеству  $T$  мыслимых объектов, часть которых  $T_r \subseteq T$  ( $|T_r| \ll |T|$ ) относится к реальным ОПР исследуемых классов. Поскольку на практике  $T$  и  $T_r$  недоступны непосредственному перечислению (их мощности очень велики), то о закономерностях в  $T_r$  судят по экспериментальному (обучающему) множеству ТЭД  $T_o(m, N) \subseteq T_r$  ( $|T_o(m, N)| \ll |T_r|$ ).

С учетом принятых ограничений оценка достоверности  $D_Z$  гипотезы о существовании импликативных закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется в результате анализа  $T_o(m, N)$  оценочной величиной  $M_S(m, N, r)$  по формуле:

$$D_Z \leq M_S(m, N, r) = \frac{N! \cdot 2^{r(1-m)} \cdot (2^r - 1)^m}{r! \cdot (N - r)!}, \quad (4)$$

где  $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ ;  $2 \leq r_{\min} \leq r_{\max}$ ;  $r_{\max} \leq N$ ;  $M_S(m, N, r)$  – величина математического ожидания числа запретных интервалов  $r$ -го ранга, обнаруженных в ТЭД  $T_o(m, N)$  случайно при отсутствии импликативных связей между признаками ОПР.

Гипотеза о существовании импликативных закономерностей в обучающей выборке  $T_o(m, N)$  принимается, если при заданном достаточно малом граничном значении  $M_S^*$  оценки  $M_S(m, N, r)$  выполняется неравенство:

$$M_S(m, N, r) = \frac{N! \cdot 2^{r(1-m)} \cdot (2^r - 1)^m}{r! \cdot (N - r)!} \leq M_S^*. \quad (5)$$

Оценка достоверности  $D_F$  гипотезы о существовании функциональных закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется в результате анализа  $T_o(m, N)$  оценочной величиной  $M_F(m, N, r)$  по формуле:

$$D_F \leq M_F(m, N, r) = \frac{N! \cdot 2^{(2^r - m)}}{r! \cdot (N - r - 1)!}, \quad (6)$$

где  $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ ;  $2 \leq r_{\min} \leq r_{\max}$ ;  $r_{\max} < N$ ;  $M_F(m, N, r)$  – оценочная величина вероятности обнаружения в ТЭД  $T_o(m, N)$  хотя бы одной функциональной закономерности  $r$ -го ранга.

Гипотеза о существовании функциональных закономерностей в обучающей выборке  $T_o(m, N)$  принимается, если при заданном достаточно малом граничном значении  $M_F^*$  оценки  $M_F(m, N, r)$  выполняется неравенство:

$$M_F(m, N, r) = \frac{N! 2^{(2^r - m)}}{r!(N - r - 1)!} \leq M_F^*. \quad (7)$$

Следует заметить, что при оценке достоверностей гипотез о существовании импликативных и функциональных закономерностей  $r$ -го ранга ( $D_Z$  и  $D_F$  соответственно) не берется во внимание доменная структура квантов знаний, что приводит при вычислениях по формулам (4) и (6) к достаточно большому числу лишних выборов значений  $\alpha_i^j$  ( $i = 1, 2, \dots, \eta_j$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ) признаков ОПР. В результате этого в выборе значений признаков может содержаться более одного значения  $X^j$ -го признака. Однако физический смысл имеют только выборы, удовлетворяющие следующему условию: «выбор должен состоять из значений, относящихся к разным признакам ОПР». Так, например, при  $n = 5$ ;  $\eta_1 = 4$ ;  $\eta_2 = 7$ ;  $\eta_3 = 5$ ;  $\eta_4 = 6$ ;  $\eta_5 = 3$  ( $N = 22$ );  $r = 3$  число выборов при вычислении  $D_Z$  и  $D_F$  по формулам (4) и (6) равно 2300, тогда как при выполнении вышеописанного условия – 1175.

### Цель и постановка задачи

Ставится задача развития индуктивного принципа внешнего дополнения РАКЗ-моделей знаниеориентированного принятия решений, который заключается в оценке и поиске импликативных и функциональных закономерностей по обучающей ТЭД. Это позволит повысить качество индуктивно построенной БкЗ как системы закономерностей проблемной области за счет учета доменной структуры  $k$ -знаний об ОПР при расчете достоверностей гипотез  $D_Z$  и  $D_F$ . Для этого необходимо по-новому сформулировать и доказать соответствующие основные теоремы, результаты которых отражены в выражениях (4) и (6).

### Оценка сложности и индуктивный поиск импликативных закономерностей по обучающим $k$ -знаниям

Предлагается для оценки с заданной надёжностью достоверности гипотез о существовании импликативных и функциональных закономерностей определённого ранга  $r$  в заданной обучающей выборке  $k$ -знаний (ТЭД) фиксированного объёма использовать формальную модель ОПР вида (1) и не производить переход от доменного пространства РАКЗ-моделей  $B^n$  к расширенному булевому пространству  $B^N$  размерности  $N = \sum_{j=1}^n \eta_j$  ( $n$  – количество признаков ОПР,  $\eta_j$  – количество значений  $j$ -го признака), не учитывающего доменной структуры  $k$ -знаний.

**Теорема 1.** Пусть задана обучающая ТЭД  $T_o(m, \vec{\eta})$ , которая состоит из  $m$  строк-наблюдений и  $(\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n)$  столбцов-признаков ОПР и неявно содержит импликативные знания (закономерности) об исследуемых классах ОПР из множества  $T_r \subseteq B^n$  (1). Предполагается, что  $T_o(m, \vec{\eta})$ , где  $\vec{\eta} = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$ , есть случайная равновероятная  $(m, \vec{\eta})$ -выборка элементов из  $T_r$ , представленная матричным квантом знаний 2-го уровня  $\Sigma_o$ . Полагаем, что существованию импликативной (запретной) связи  $r$ -го ранга между некоторыми признаками ОПР в пространстве  $B^n$  отвечает событие  $S(m, \vec{\eta}, r)$ : «некоторые интервалы  $r$ -го ран-

га в  $T_r \subseteq B^n$  не пересекаются с  $T'_o(m, \bar{\eta})$ , т.е. являются запретными». Тогда оценка достоверности  $D_Z$  гипотезы о существовании импликативных закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется в результате анализа  $\Sigma_o$  оценочной величиной  $M_S(m, \bar{\eta}, r)$  для вероятности  $P_S(m, \bar{\eta}, r)$  события  $S(m, \bar{\eta}, r)$  по формуле:

$$D_Z = P_S(m, \bar{\eta}, r) \leq M_S(m, \bar{\eta}, r) = 2^{r(1-m)} (2^r - 1)^m \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}), \quad (8)$$

где  $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ ;  $2 \leq r_{\min} \leq r_{\max}$ ;  $r_{\max} \leq n$ .

**Доказательство.** Из определения импликативной закономерности [6,7] и содержания события  $S$  очевидно вытекает суждение: «уменьшение вероятности проявления запретного интервала согласно событию  $S$  ведёт к увеличению достоверности существования соответствующей импликативной связи». Отсюда следует правомерность использования вероятности  $P_S(m, \bar{\eta}, r)$  события  $S$  для оценки достоверности  $D_Z$ . Прежде чем определить  $P_S(m, \bar{\eta}, r)$ , заметим, что событие  $S$  сложное и представляет собой сумму простых событий  $s(m, \bar{\eta}, r)$ : «некоторый конкретный интервал  $r$ -го ранга не пересекается с  $T'_o(m, \bar{\eta})$ ». Событие  $S(m, \bar{\eta}, r)$  наступает при любом событии  $s(m, \bar{\eta}, r)$ , соответствующем выбору любого интервала  $r$ -го ранга. Поскольку события  $s(m, \bar{\eta}, r)$  в составном событии  $S(m, \bar{\eta}, r)$  связаны не просто, образуя сложные взаимные пересечения интервалов, вычисление вероятности  $P_S(m, \bar{\eta}, r)$  события  $S$  сопряжено с большими вычислительными трудностями. Поэтому величину  $P_S(m, \bar{\eta}, r)$  при малых её значениях проще оценить величиной математического ожидания  $M_S(m, \bar{\eta}, r)$  числа интервалов  $r$ -го ранга, не пересекающихся со случайной ТЭД  $T'_o(m, \bar{\eta})$ . Математическое ожидание случайной величины определяется усреднённым её значением по всем возможным реализациям с учётом их вероятностей. В нашем случае реализациями являются равновероятные различные булевы матрицы размером  $m \times (\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n) = (m \times N)$ , отвечающие ТЭД, т.е. обучающим  $k$ -знаниям  $\Sigma_o$ , что упрощает вычисление  $M_S(m, \bar{\eta}, r)$ . Напомним, что в каждой реализации элемент «1» означает наличие соответствующего признака в данном ОПР, а «0» – его отсутствие. Обозначим множество различных булевых матриц размером  $m \times N$  через  $A = \{a_j\}$ , а множество всех интервалов  $r$ -го ранга в пространстве  $T_r$  – через  $B = \{b_j\}$ . В силу конечности множеств  $A$  и  $B$  их мощности определяют число различных булевых матриц данного размера (реализаций) и число всех интервалов  $r$ -го ранга соответственно. Для вычисления мощности множества  $|A|$  необходимо учесть факт, что каждый домен кванта должен иметь не менее одного элемента «1». Таким образом, мощность множества  $|A| = \prod_{j=1}^n (2^{\eta_j} - 1)^m$ . Для вычисления мощности множества  $|B|$  необходимо учесть условие:

«выбор должен состоять из значений, относящихся к разным  $X^j - m (j = 1, 2, \dots, n)$  признакам ОПР». Таким образом, мощность множества  $|B| = 2^r \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r})$ , где

$2^r$  – количество фиксированных комбинаций значений  $r$  признаков. Очевидно, мощность декартова произведения  $|A \times B|$  указанных множеств определяет количество таких пар  $(a, b) = (\text{матрица}, \text{интервал})$ , которые находятся в отношении непересечения, т.е. запретной связи между  $r$  признаками. Усредняя величину  $|A \times B|$  по всевозможным реализациям  $|A|$ , получим величину искомого математического ожидания  $M_S(m, \bar{\eta}, r) = |A \times B| / |A|$ . Для наход-

дения величины  $|A \times B|$  сначала вычислим количество  $Q$  различных матриц, непересекающихся с некоторым конкретным, но произвольно выбранным интервалом  $r$ -го ранга. Предположим, что интервал образован значениями «0» первых значений первых  $r$  признаков:  $\alpha_{11}, \dots, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{r1}, \dots$ . Тогда интервал окажется пустым (запретным) в  $T_o(m, \vec{\eta})$ , если ни одна из  $m$  её строк не будет содержать в позициях  $\alpha_{11}, \dots, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{r1}, \dots$  только «0». Очевидно, доля матриц, у которых первые  $r$  столбцов в  $m$  строках заполнены «0», составляет  $\frac{1}{2^r}$  от общего числа матриц  $\prod_{j=1}^n (2^{\eta_j} - 1)^m$ , а доля остатка  $C = (1 - \frac{1}{2^r})^m = \frac{(2^r - 1)^m}{2^{r \cdot m}}$ . Величину  $Q$  определим по формуле:

$$Q = |A| \cdot C = \frac{(2^r - 1)^m}{2^{r \cdot m}} \cdot \prod_{j=1}^n (2^{\eta_j} - 1)^m. \quad (9)$$

Следовательно,

$$|A \times B| = Q \cdot |B| = \frac{(2^r - 1)^m}{2^{r \cdot m}} \cdot \left( \prod_{j=1}^n (2^{\eta_j} - 1)^m \right) \cdot 2^r \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}). \quad (10)$$

В результате деления величины (10) на  $|A| = \prod_{j=1}^n (2^{\eta_j} - 1)^m$  получим

$$\begin{aligned} M_S(m, \vec{\eta}, N, r) &= \frac{(2^r - 1)^m}{2^{r \cdot m}} \cdot 2^r \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}) = \\ &= 2^{r(1-m)} (2^r - 1)^m \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}), \end{aligned} \quad (11)$$

что совпадает с правой частью выражения  $D_Z$  (8). Из описанного выше способа вычисления величины  $M_S(m, \vec{\eta}, r)$  как суммы вероятностей  $P_S(m, \vec{\eta}, r)$  событий  $s(m, \vec{\eta}, r)$ , взятой по всевозможным интервалам  $r$ -го ранга, следует, что эта сумма вероятностей не может быть меньше вероятности суммы этих же событий, т.е.  $P_S(m, \vec{\eta}, r) \leq M_S(m, \vec{\eta}, r)$ . Результат полностью совпадает с выражением (8) для  $D_Z$ . Теорема 1 доказана.

В табл. 1 приведены расчетные значения  $M_S(m, \vec{\eta}, r)$ , которые свидетельствуют о сильной зависимости  $M_S$  от  $r$ , что упрощает принятие решений при выборе гипотез. Подчеркнутые значения в таблице 1 не превышают допустимого порога  $M_S^* = 10^{-3}$  и отвечают максимальным допустимым значениям ранга  $r_{\max}$  искомых имплицативных закономерностей. Например, для числовой пары  $(m, \vec{\eta}) = (100, (8, 5, 9, 4, 6))$ , т.е. параметров обучающей матрицы квантов знаний  $T_o(m, \vec{\eta})$ , обнаруженный запретный квант можно считать имплицативной закономерностью, если его ранг не превышает  $r = 2$ . Из табл. 1 следует, что на множестве значений  $r$  находится достаточно четкая граница, отделяющая запретные интервалы, которые целесообразно проверить на пересечение с  $T_o(m, \vec{\eta})$ , от неперспективных интервалов.

Таблица 1

$r$	$m=100, n=5,$ $\bar{\eta}=(8,5,9,4,6)$	$m=300, n=10,$ $\bar{\eta}=(3,9,8,6,2,8,6,7,7,4)$	$m=500, n=15,$ $\bar{\eta}=(2,3,2,6,2,4,8,9,10,$ $2,3,10,2,3,4)$	$m=750, n=20,$ $\bar{\eta}=(3,6,5,4,3,4,7,9,6,$ $6,10,2,5,4,2,9,7,8,6,7)$
1	5.0487E-0029	5.8909E-0089	4.2769E-0149	3.8160E-0224
2	5.1444E-0010	2.1061E-0034	3.0133E-0059	4.7552E-0090
3	3.1223E-0002	7.9265E-0013	3.4157E-0024	5.1410E-0038
4	1.8561E+0002	1.5448E-0002	8.3844E-0008	7.1391E-0014
5	1.1556E+0004	3.8842E+0003	2.0164E+0001	1.1939E-0001
6	0.0000E+0000	4.3075E+0006	8.0683E+0005	5.2531E+0005
7	0.0000E+0000	2.8165E+0008	4.2295E+0008	4.2272E+0009
8	0.0000E+0000	3.5641E+0009	2.2993E+0010	1.3876E+0012
9	0.0000E+0000	1.4331E+0010	3.5372E+0011	8.4409E+0013
10	0.0000E+0000	1.8627E+0010	2.5078E+0012	2.0092E+0015

Расчетные значения  $r_{\max}$  при  $M_s^* = 10^{-3}$ , приведенные в табл. 2 свидетельствуют об отсутствии сильной зависимости  $M_s$  от  $\bar{\eta}$ , поэтому для упрощения дальнейших исследований положим, что все элементы вектора  $\bar{\eta}$  равны между собой.

Таблица 2

$m=250, n=5$	$r_{\max}$	$m=500, n=15$	$r_{\max}$
$\bar{\eta}=(3,7,10,6,4), N=30$	3	$\bar{\eta}=(7,6,9,10,9,2,4,3,7,6,8,5,6,5,2),$ $N=89$	4
$\bar{\eta}=(10,7,10,9,10), N=46$	3	$\bar{\eta}=(9,6,9,6,2,9,6,5,8,9,2,3,10,7,4),$ $N=95$	4
$\bar{\eta}=(3,2,9,2,3), N=19$	4	$\bar{\eta}=(9,8,8,5,5,7,3,9,8,6,9,3,10,2,4),$ $N=96$	4
$\bar{\eta}=(10,5,6,7,10), N=38$	3	$\bar{\eta}=(4,2,4,9,2,4,5,6,9,5,8,2,2,9,2),$ $N=73$	4
$\bar{\eta}=(8,8,5,2,5), N=28$	3	$\bar{\eta}=(9,7,2,9,3,5,9,2,8,5,7,3,9,3,4),$ $N=85$	4
$\bar{\eta}=(10,5,7,3,8), N=33$	3	$\bar{\eta}=(2,3,10,2,2,3,7,9,7,2,10,6,7,5,2),$ $N=77$	4
$\bar{\eta}=(2,3,2,3,6), N=16$	4	$\bar{\eta}=(8,3,5,6,10,2,5,4,9,2,5,5,3,5,9),$ $N=81$	4
$\bar{\eta}=(10,3,6,7,3), N=29$	3	$\bar{\eta}=(2,2,6,10,4,6,8,5,2,3,6,3,5,9,6),$ $N=77$	4
$\bar{\eta}=(3,5,5,10,9), N=32$	3	$\bar{\eta}=(2,2,9,4,5,10,10,2,7,8,6,9,2,7,2),$ $N=85$	4
$\bar{\eta}=(9,7,5,10,2), N=33$	3	$\bar{\eta}=(7,9,6,4,9,9,3,7,5,2,2,2,6,6,9),$ $N=86$	4

В табл. 3 приведены расчетные последовательности значений  $r_{\max}$  имплекативной закономерности, которые свидетельствуют о сильной зависимости  $r_{\max}$  от  $m, n$  и  $M_s^*$ . Из этой таблицы следует, что для повышения на единицу ранга  $r$  отыскиваемых закономерностей

требуется увеличить объем обучающих знаний в 2.5–3 раза; примерно тот же эффект дает уменьшение в 3–5 раз числа признаков, в терминах которых описывается ОПР.

Таблица 3

$M_s^*$	$\frac{m}{n}$																				
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
$10^{-2}$	5	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	10	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	15	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
	20	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
	25	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
	30	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
$10^{-3}$	5	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
	10	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	15	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
	20	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
	25	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
	30	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5

Общее число всех переборов значений признаков ОПР при поиске по обучающей выборке импликативных закономерностей между признаками определяется по формуле:

$$q_z = \sum_{r=2}^{r_{\max}} 2^r \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1-1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}-1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}). \quad (12)$$

Например, если параметры обучающей выборки:  $m = 250$ ,  $\bar{\eta} = (3, 5, 4, 5, 4, 4, 5, 3, 4, 4)$ ,  $n = 10$ , то при построении базы квантов знаний требуемого качества ( $M_s^* = 10^{-3}$ ) при поиске импликативных закономерностей необходимо рассматривать ранги не выше  $r_{\max}$  (по табл. 3 находим, что  $r_{\max} = 3$ ). Таким образом, число  $q_z = 68536$ .

### Оценка сложности и индуктивный поиск функциональных закономерностей по обучающим $k$ -знаниям

**Теорема 2.** Пусть задана обучающая ТЭД  $T_o(m, \bar{\eta})$ , состоящая из  $m$  строк-наблюдений и  $(\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n)$  столбцов-признаков ОПР, неявно содержит функциональные знания (закономерности) об исследуемых классах ОПР из множества  $T_r \subseteq B^n$  (1). Предполагается, что  $T_o(m, \bar{\eta})$ , где  $\bar{\eta} = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$ , есть случайная равновероятная  $(m, \bar{\eta})$ -выборка элементов из  $T_r$ , представленная матричным квантом знаний 2-го уровня  $\Sigma_o$ . Полагаем, что проявлению функциональной связи  $r$ -го ранга между некоторыми признаками ОПР в пространстве  $B^n$  отвечает событие  $f(m, \bar{\eta}, N, r)$ : «некоторые столбцы ТЭД  $T_o(m, \bar{\eta})$  охвачены функциональной связью ранга  $r$ , т.е. зафиксированы  $r$  столбцов-аргументов и еще один столбец-функция такие, что одинаковым комбинациям значений в столбцах-аргументах соответствуют одинаковые значения в столбце-функции».

Рассмотрим характеризующее функциональные закономерности событие  $F(m, \bar{\eta}, N, r)$ : «в обучающем кванте  $\Sigma_o$  обнаружена хотя бы одна функциональная связь  $r$ -го ранга, которой отвечает событие  $f(m, \bar{\eta}, N, r)$ ». Тогда оценка достоверности  $D_F$  гипотезы о существ-

вовании функциональных закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется в результате анализа  $\Sigma_o$  оценочной величиной  $M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  для вероятности  $P_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  события  $F(m, \vec{\eta}, N, r)$ , по формуле:

$$D_F = P_F(m, \vec{\eta}, N, r) \leq M_F(m, \vec{\eta}, N, r) = 2^{(2^r - m)} \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n [(\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}) \cdot (N - (\eta_{k_1} + \eta_{k_2} + \dots + \eta_{k_r}))], \quad (13)$$

где  $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ ;  $2 \leq r_{\min} \leq r_{\max}$ ;  $r_{\max} < n$ ;  $N = \sum_{j=1}^n \eta_j$ .

**Доказательство.** Доказательство теоремы сводится к определению величины  $M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  по схеме правила произведения двух сомножителей  $K$  и  $P$ . Сомножитель  $K$  определяет количество отдельных событий  $f(m, \vec{\eta}, N, r)$  в логической сумме событий  $F(m, \vec{\eta}, N, r)$ , а сомножитель  $P$  – величину вероятности  $p_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  события  $f(m, \vec{\eta}, N, r)$ , т.е. вероятности того, что выбранные заранее в ТЭД  $T_o(m, \vec{\eta})$   $r$  столбцов окажутся в функциональной связи  $r$ -го ранга. Определим величину  $K$ . Очевидно, что количество различных выборов на роль  $r$  аргументов-столбцов из матричного кванта  $\Sigma_o$  равно:

но:  $\sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r})$ . Число выборов одного столбца-функции из оставшихся

столбцов определяется суммой разностей:  $\sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n (N - (\eta_{k_1} + \eta_{k_2} + \dots + \eta_{k_r}))$ . Следова-

тельно, величина  $K$  равна:

$$K = \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n [(\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}) \cdot (N - (\eta_{k_1} + \eta_{k_2} + \dots + \eta_{k_r}))]. \quad (14)$$

Для определения сомножителя  $P$  выберем в матричном кванте  $\Sigma_o$  некоторый минор, образуемый  $r$  столбцами, претендующими на роль аргументов. Выделим в миноре строки, не совпадающие по значениям ни с одной из расположенных выше. Выделенные строки, очевидно, будут обладать различными значениями, а все остальные – совпадать по значению с какой-либо из строк. Количество выделенных строк будет не больше чем  $2^r$ , а оставшихся – не меньше чем  $(m - 2^r)$ . Таким образом, строки  $\Sigma_o$  окажутся разбитыми на классы, содержащие строки только с одинаковыми комбинациями значений в столбцах-аргументах. Общее число таких классов не превысит  $2^r$ . Наличие функциональной связи означает, что столбец-функция принимает произвольные значения в выделенных строках, если в любой другой строке его значения будут те же, что и в выделенной, попавшей в тот же класс. Следовательно, при интересующем нас событии  $f(m, \vec{\eta}, N, r)$  о функциональных знаниях (закономерностях) количество строк  $\Sigma_o$ , имеющих одинаковые комбинации значений в столбцах-аргументах и обладающих одинаковыми значениями в столбце-функции, лежит в диапазоне от  $(m - 2^r)$  до  $m - 1$ . Отсюда вытекает соотношение, определяющее сомножитель  $P$ :

$$P = p_F(m, \vec{\eta}, N, r) \leq \frac{1}{2^{(m - 2^r)}} = 2^{(2^r - m)}. \quad (15)$$

Перемножив величины  $K$  (14) и  $P$  (15), получим искомое выражение для  $M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$ :

$$M_F(m, \vec{\eta}, N, r) = P \cdot K = 2^{(2^r - m)} \cdot \sum_{k_1=1}^{n-(r-1)} \sum_{k_2=k_1+1}^{n-(r-2)} \dots \sum_{k_r=k_{r-1}+1}^n [(\eta_{k_1} \cdot \eta_{k_2} \cdot \dots \cdot \eta_{k_r}) \cdot (N - (\eta_{k_1} + \eta_{k_2} + \dots + \eta_{k_r}))], \quad (16)$$

что совпадает с правой частью выражения (13). Поскольку  $M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  оценивает вероятность  $P_F(m, \vec{\eta}, N, r)$  события  $F(m, \vec{\eta}, N, r)$  сверху, то  $P_F(m, \vec{\eta}, N, r) \leq M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$ . Теорема 2 доказана.

В табл. 4 приведены вычисленные для различных параметров  $m, \vec{\eta}, N, r$  значения  $M_F(m, \vec{\eta}, N, r)$ . Табл. 5 иллюстрирует изменение максимальных значений ранга  $r_{\max}$  функциональной закономерности для различных  $m, n$  и порогах  $M_F^* = 10^{-2}$  и  $M_F^* = 10^{-3}$ .

Таблица 4

$r$	$m=100, n=5, \vec{\eta}=(9,6,3,3,2), N=23$	$m=300, n=10, \vec{\eta}=(8,7,8,5,10,5,3,2,5,9), N=62$	$m=500, n=15, \vec{\eta}=(4,8,9,8,4,6,4,10,4,3,3,4,5,2,4), N=78$	$m=750, n=20, \vec{\eta}=(7,6,10,7,7,6,2,4,3,6,7,7,3,7,8,5,5,4,6,5), N=115$
1	1.2306E-0027	6.6724E-0087	6.8382E-0147	8.4385E-0222
2	2.8967E-0026	6.3773E-0085	8.9800E-0145	1.7272E-0219
3	1.1341E-0024	1.3930E-0082	2.8616E-0142	8.8527E-0217
4	<u>2.5126E-0022</u>	3.0604E-0079	9.8900E-0139	5.0942E-0213
5	-	1.1197E-0073	6.2760E-0133	5.5942E-0207
6	-	1.7424E-0063	1.9309E-0122	3.1119E-0196
7	-	7.2651E-0044	1.9179E-0102	5.8795E-0176
8	-	<u>3.1518E-0005</u>	<u>2.6547E-0063</u>	1.6442E-0136
9	-	1.9904E+0072	9.4017E+0014	<u>1.2613E-0058</u>
10	-	-	2.8538E+0169	2.9693E+0096

Таблица 5

$M_F^*$	$\frac{m}{n}$	$r_{\max}$																			
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
$10^{-2}$	10	4	6	6	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	15	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	20	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	25	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	30	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
$10^{-3}$	10	4	6	6	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	15	4	5	6	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	20	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	25	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	30	3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9

При сравнении полученных результатов с аналогичными в таблице 3 замечаем, что ранги функциональных закономерностей несколько выше рангов импликативных. Объясняется это тем, что функциональные связи сильнее импликативных, так как сводятся к совокупности импликативных.

## Выводы

В работе были по-новому сформулированы и доказаны основные теоремы, которые дают соотношения для оценки с заданной надёжностью достоверности гипотез о существовании импликативных и функциональных закономерностей определённого ранга  $r$  в пространстве признаков ОПР. Эти теоремы лежат в основе принципа внешнего дополнения, который обеспечивает экстраполяционные свойства квантовых моделей знаниеориентированного принятия решений. Новая трактовка теорем позволяет повысить качество индуктивной базы квантов знаний.

Также в статье приведены расчетные данные, позволяющие при построении базы квантов знаний некоторой предметной области при оценке обучающей выборки по ее параметрам определить максимальный ранг искомых закономерностей.

**Список литературы:** 1. Питер Дж. Введение в экспертные системы: Пер. с англ.: Учеб. пособие. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 624 с. 2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. 284с. 3. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. 2002. №3. С.161-171. 4. Сироджа И.Б. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем: Учеб. пособие. Харьков: Изд-во ХАИ, 1992. 100с. 5. Сироджа И.Б. Петренко Т.Ю. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечёткости данных. Киев: Наукова думка, 2000. 247с. 6. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. Киев: Наукова думка, 2002. 427с. 7. Закревский А. Д. Логика распознавания. Мн.: Наука и техника, 1988. 118с.

Поступила в редколлегию 30.11.2003

УДК 004.93'1

О.А. КОБЫЛИН

## НЕПРЕРЫВНОЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассматривается новый способ выделения контура изображения на основе вейвлет-анализа. Высокочувствительный вейвлет-спектральный анализ позволяет определять границы объектов на изображении. Производится сравнение с классическими способами определения контуров объектов.

### 1 Постановка проблемы

В настоящее время в системах технического зрения важной проблемой является выделение границ изображения для последующего распознавания объектов и установления их геометрических характеристик [1, 2]. Выделение границ на изображении можно рассматривать как отдельную задачу, не связанную с сегментацией. Однако к эффективным методам сегментации относится выделение границ объектов. Граничными точками считают в таком случае точки резкого перепада функции яркости. Для нахождения границ используется как правило численное дифференцирование. Одним из распространенных методов является градиентный метод, известный также как метод контрастирования или пространственного дифференцирования. Для этого на практике используют модуль градиента функции яркости

$$|\Delta f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{df(x, y)}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df(x, y)}{dy}\right)^2},$$

который пропорционален изменению функции яркости в данной точке и не зависит от направления контура. Применяя фильтр к изображению, получают изображение градиентов. Это преобразованное изображение отличается от исходного ярко выраженными перепадами яркости. Точка на изображении является контуром, если яркость изображения градиентов превышает заданный порог [7].

Как правило, вейвлет-анализ применяется для анализа одномерных сигналов. В настоящее время вейвлет-анализ все больше начинают применять для обработки практически всех основных графических объектов: кривых, поверхностей, сплошных трехмерных тел. Также вейвлет-анализ находит применение и в задачах компьютерного зрения, распознавания и классификации образов.

Цель работы состоит в разработке метода выделения контуров объектов на основе высокочувствительного вейвлет-спектрального анализа.

### 2 Решение задачи

Вейвлет-преобразование – разложение сигнала по системе вейвлетов. Вейвлеты получают путем сдвига и масштабирования одной функции – порождающего вейвлета. Вейвлетом в таком случае является функция, быстро убывающая на бесконечности, среднее значение которой равно нулю. В отличие от анализа Фурье каждому значению масштаба вейвлет-анализа соответствует бесконечное количество сдвинутых друг относительно друга локализованных в пространстве функций. Если сигнал имеет разрыв, то высокие амплитуды будут только у тех вейвлетов, максимумы которых окажутся вблизи точки разрыва. Благодаря этому можно определить наличие особенностей сигнала, а также и точку, в которой он проявляется. Вследствие этого можно считать, что вейвлет-анализ является частотно-пространственным, принципиально отличающимся от частотного анализа Фурье.

Функцию  $\psi \in L_2(R)$  называют базовым всплеском, если она удовлетворяет условию:

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty,$$

где  $\hat{\Psi}(\omega)$  – Фурье-образ вейвлета  $\Psi(t)$ :  $\hat{\Psi}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_R \Psi(t) e^{-i\omega t} dt$ .

При помощи базового всплеска определяется непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) на  $L_2(R)$  следующим выражением:

$$W_{\Psi}(a, b)f = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, f \in L_2(R),$$

где  $a$  и  $b$  – параметры, определяющие масштаб и смещение функции  $\Psi$ .

Полагая  $\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ,

получаем  $W_{\Psi}(a, b)f = \langle f, \Psi_{a,b} \rangle$ .

Существует обратное непрерывное вейвлет-преобразование. Используя коэффициенты  $W_{\Psi}(a, b)f$ , можно восстановить исходный вид функции  $f(t)$  по следующей формуле:

$$f(t) = \iint_{R^2} W(a, b) \Psi(a, b, t) \frac{dadb}{a^2}.$$

Прямое и обратное вейвлет-преобразования зависят от некоторой функции  $\Psi(t) \in L_2(R)$ , которую принято называть базисным вейвлетом. На его выбор вводится ограничение конечности нормировочного множителя:

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega = 2 \int_{R^+} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty.$$

В результате вышесказанного можно считать, что НВП – это разложение сигнала по всем возможным сдвигам и сжатиям некоторой функции.

НВП одномерного сигнала преобразует функцию одной переменной в набор вейвлет-коэффициентов, который представляет собой функцию двух переменных – масштаба и смещения. Коэффициенты  $W_{\Psi}(a, b)f$  содержат в себе полную информацию об исходном сигнале. Для наглядного отображения коэффициентов разложения используют вейвлет-спектрограммы. Для построения вейвлет-спектрограммы точки на плоскости параметров  $(a, b)$  отображают в зависимости от величины коэффициентов  $W_{\Psi}(a, b)f$  цветами различной интенсивности. Как правило, используют черно-белые вейвлет-спектрограммы. По горизонтальной оси располагают величину смещения, а по вертикальной размещают масштаб. В этом случае черный цвет соответствует минимальному значению коэффициентов, а белый – максимальному.



Рис. 1. Пример исследуемого изображения

Промежуточные оттенки соответствуют градациям серого цвета, их количество равно 256. На спектре можно отчетливо различать две компоненты одномерного сигнала. Внизу будут просматриваться колебания интенсивности, образуемые высокочастотной составляющей сигнала, а низкочастотная составляющая сигнала различима в средней части спектра.

Рассмотрим задачу выделения контура изображения. Задача выделения контуров состоит в построении изображения границ объектов и выделении однородных областей. Контуром изображения считается некоторая линия, являющаяся границей перехода от объекта к фону, шириной как минимум, в один пиксель. Если на изображении присутствует шум, то возможно после обработки могут появиться ложные контуры, которые не являются границами объектов.

Рассмотрим реальное полутоновое изображение, представленное на рис. 1.

Произведем выделение контуров на изображении при помощи методов, основанных на применении масок размером 3x3 [6, 7]. Основными являются метод Робертса, Собела, Превита, Канни.

При обработке методом Собеля новое значение каждого пикселя  $B'$  вычисляется следующим образом:

$$B' = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

где  $X = (A_3 + 2 * A_4 + A_5) - (A_1 + 2 * A_8 + A_7)$ ;  $Y = (A_1 + 2 * A_2 + A_3) - (A_7 + 2 * A_6 + A_5)$ ;

матрицы - 
$$\begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_8 & B & A_4 \\ A_7 & A_6 & A_5 \end{pmatrix}$$

Метод Собеля позволяет избежать появлению шума из-за сглаженной функции градиентов.

Результаты исследования при помощи классических методов определения границ изображения представлены на рис. 2. Определение границ реализованы при помощи математического пакета MatLab функцией edge().

Рассмотренные методы, основанные на применении масок 3x3, дают практически одинаковые результаты. Недостатком этих методов является отсутствие автоматического выбора порога

Качество обработки изображений определяется по подавлению фона и выделению объектов в виде связных областей. Также существенную роль в определении контуров играет яркость объектов изображения, которая в реальных условиях зависит от многих факторов и может изменяться. Вследствие этого могут образовываться ложные края на изображении.

Как видно в полученных результатах, были выделены элементы и детали объектов, но не сами контуры объектов.

Рассмотрим задачу выделения границ с применением функции одномерного непрерывного вейвлет-преобразования (НВП) [3, 4, 5].

В основе НВП лежит использование двух непрерывных и интегрируемых по всей оси  $t$  функций:

– вейвлет-функции  $\Psi(t)$  с нулевым значением интеграла  $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0$ , определяющей детали сигнала и порождающей детализирующие коэффициенты;

– масштабирующей функции  $\phi(t)$  с единичным значением интеграла  $\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = 1$ , определяющей грубое приближение сигнала и порождающая коэффициенты аппроксимации.

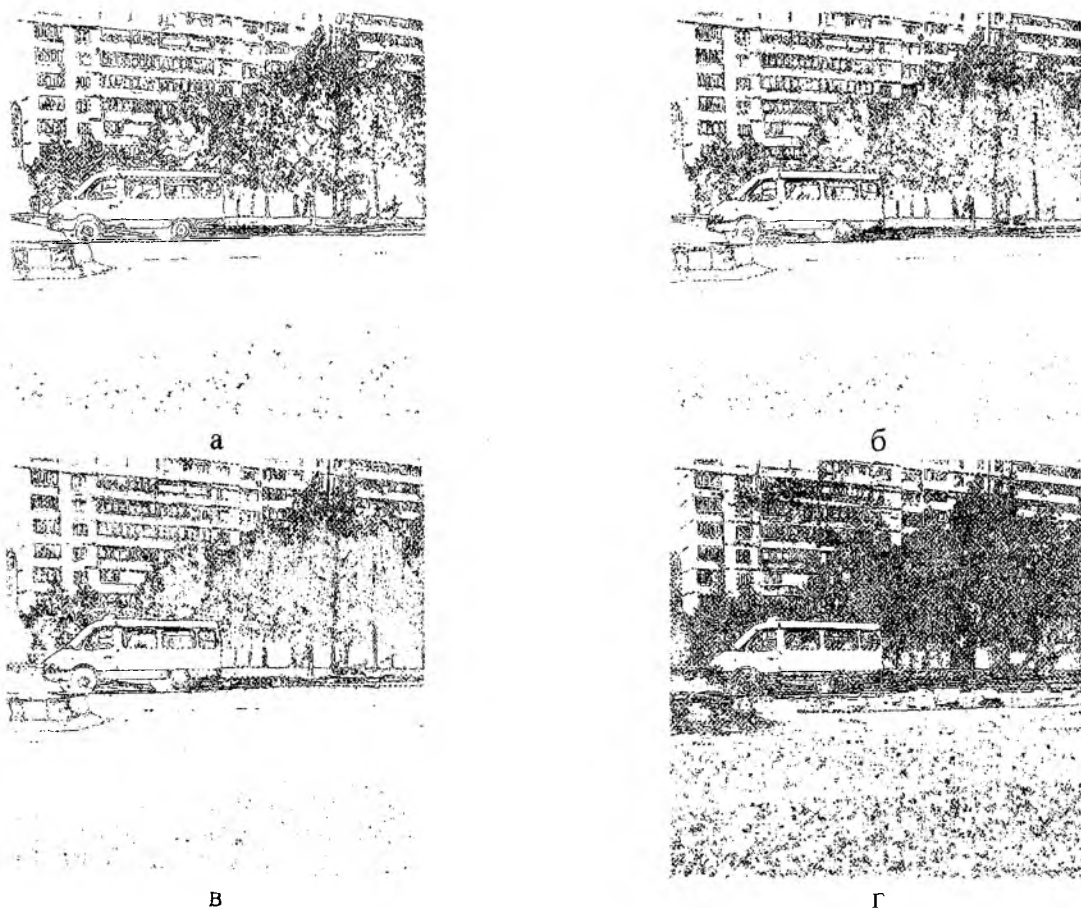


Рис. 2. Выделения контуров методом:  
а) Канни; б) Превита; в) Робертса; г) Собеля

Под фракталами (разрывами) понимается резкий скачкообразный переход в течение какого-либо процесса. Количественно это можно оценить величиной первой производной такого процесса. Там, где имеют место скачки, первая производная очень велика. Если скачок имеет форму разрыва, то первая производная стремится к бесконечности. Однако, реальные процессы, измеренные физически реальными приборами, не могут иметь идеальных разрывов. В действительности, измеренные фрактальные переходы характеризуются конечным значением производной. Чем резче фрактал, тем больше значение производной. Плавные переходы будут иметь небольшие значения производной. Особенности сигнала можно рассматривать на вейвлет-спектрограммах. Вейвлет-спектрограммы позволяют выделять такие особенности сигналов, которые незаметны на графиках сигналов и на Фурье-спектрограммах. Белые полосы на НВП вейвлет-спектрограммах соответствуют фракталам.

Однако функция НВП применима только для одномерных сигналов, а изображение является двумерным сигналом. Поэтому необходимо приспособить функции НВП для анализа изображения.

Суть такого приспособления заключается в следующем.

Выполним вычисление горизонтальных фракталов. Для этого из матрицы  $X$  выделим строку под номером 1. Подвергнем ее НВП анализу. Посмотрим на вейвлет-спектрограмму этой строки. Убедимся, что, например, в пятой строке этой спектрограммы уже хорошо просматриваются белые вертикальные полосы – это и есть фракталы. Эта пятая строка соответствует пятому номеру масштаба вейвлета, которым в этой строке проведен спектральный анализ. Сам вейвлет-спектр тоже является матрицей. Извлечем из этого вейвлет-спектра пятую строку.

Теперь условимся, что мы будем создавать матрицу горизонтальных фракталов с именем  $FCwtX1$ . Эта матрица должна по смыслу соответствовать исходной матрице  $X$ , т.е. эти матрицы должны иметь равную размерность: число строк одной должно равняться числу строк другой, то же самое – в отношении столбцов. Поэтому, если мы взяли, например, для НВП-анализа первую строку матрицы  $X$ , то результат анализа следует поместить в первую строку матрицы  $FCwtX1$ . А если мы взяли, например, для НВП-анализа вторую строку матрицы  $X$ , то результат анализа должен быть помещен во вторую строку матрицы  $FCwtX1$  и т.д.

Вспомним, что мы только что обсуждали анализ первой строки матрицы изображения  $X$ . Поэтому извлеченную пятую строку из вейвлет-спектра поставим на место первой строки матрицы  $FCwtX1$ . Когда переберем все строки матрицы  $X$ , получим матрицу  $FCwtX1$ . В этой матрице строки несут информацию о фракталах. Там где ярче, там фрактал. Если выполнить негатив, то все поле без фракталов будет белым, а в местах, где имеются фракталы, изображение будет иметь черный цвет.

Теперь понятно, почему эти фракталы названы здесь горизонтальными. Мы брали строки матрицы  $X$  и по ним «шли горизонтально» с вейвлетом и интегрировали на каждом сдвиге на один отсчет те участки строк, которые накрывались вейвлетом.

Теперь произведем вычисление вертикальных фракталов. Для этого из матрицы  $X$  выделим столбец под номером 1. Подвергнем его НВП анализу.

По аналогии с вычислением горизонтальных фракталов сформируем матрицу вертикальных фракталов с именем  $FCwtX2$ .

После анализа матрицы вертикальных и горизонтальных фракталов и сложения их в один образ градиентов (границ) получаем контур изображения.

Результат выделения контура изображения при помощи анализа фракталов показан на рис. 3.

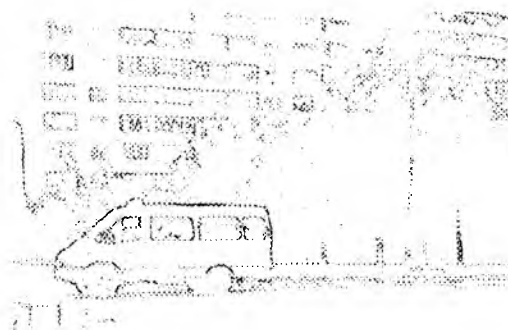


Рис. 3. Выделение контура с применением вейвлет-преобразования

## Выводы

По сравнению с классическими методами разработанный метод имеет преимущества:

- обработка ведется не по площадям изображения, а последовательно по столбцам (строкам) матрицы изображения, что дает возможность для точного выявления градиентов на каждом столбце (строке);

- для обработки столбцов (строк) матрицы изображения с целью определения границ объектов на изображении применяется высокочувствительный вейвлет-спектральный анализ. В этом состоит главное преимущество метода, так как только вейвлеты способны наиболее точно выделять даже небольшие разрывы на одномерных сигналах, которые в данном случае мы интерпретируем как границы объектов.

**Список литературы:** 1. Бакут П.А., Колмогоров Г.С. Сегментация изображений: методы выделения границ областей // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. №10. С.7. 2. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. 3. Mallat S. G. A wavelet tour of signal processing. New York: Academic Press, 1999. 4. Чуи К. Введение в вэйвлеты. М.: Мир, 2001. 5. Доберши И. Десять лекций по вэйвлетам. Москва-Ижевск: РХД, 2001. 6. Хорн Б.К. Зрение роботов: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 487 с., ил. 7. Пуятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.

Поступила в редколлегию 29.01.2004

УДК 004.896

С.А. ПОЛИВИЦЕВ, Т. С. ХАШАН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕНСОРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЛУХА РОБОТОВ

### Введение

В статье предлагается программно-аппаратная система технического слуха роботов, анализируются геометрические и акустические свойства сенсоров этой системы. Основное назначение разрабатываемой системы - определение расположения источника звукового сигнала в пространстве, изучение робототехническими устройствами окружающей среды с целью получения окружающей «звуковой картины». Прикладной аспект данной проблемы может быть следующим - обнаружение живых людей в зданиях и сооружениях, разрушенных в результате природных или техногенных катастроф. Актуальность этой задачи определяется необходимостью концентрации сил спасателей приступить к работе в местах, где есть надежда обнаружить живых людей.

Научная новизна рассматриваемой проблемы определена тем, что исследования по ее решению начались сравнительно недавно, всего лишь несколько лет назад, и идут только в ведущих лабораториях промышленно развитых стран (Япония, США, Италия, Франция) [1-5, 10]. Анализ литературных источников показывает на сегодняшний день отсутствие промышленно разработанных устройств этого класса. На основании сказанного можно заключить, что проблема разработки системы технического слуха роботов представляет собой важную, новую научную задачу бионики и робототехники. Ее решение требует создания целого ряда новых специализированных аппаратных и программных систем.

Данная разработка выполняется в рамках научной работы Института проблем искусственного интеллекта «Разработка мобильного маневренного робота» (№ 0103U001218, шифр IMP-2002, научный рук. д.т.н., проф. А.И. Шевченко).

### 1 Краткий анализ состояния проблемы

Оснащение подразделений, занимающихся аварийно – спасательными работами, мобильными роботами и дистанционно управляемыми средствами с элементами искусственного интеллекта, на сегодняшний день является актуальной проблемой, решение которой позволит обеспечить быстрое выполнение задач, находящихся за пределами человеческих возможностей, или задач, сопряженных с чрезмерной угрозой здоровью и жизни человека.

В качестве примера укажем работы [6 - 9], в которых рассматривается полная характеристика соответствующих специализированных мобильных роботов и дистанционных устройств, находящихся на вооружении подразделений МЧС России, и предназначенных для ведения поисково-спасательных и других видов специальных работ. Данные средства могут быть использованы при проведении химической и радиационной разведки, при проведении взрывотехнических работ (поиск и диагностика взрывных устройств, уничтожение или их эвакуация), при проведении специальных работ, связанных с риском.

Анализ имеющихся публикаций подтверждает актуальность поставленной задачи по разработке слуховых сенсоров мобильных роботов, в особенности – роботов специального назначения. Отметим, что в настоящее время соответствующие универсальные устройства отсутствуют, а исследования ведутся по созданию сенсоров слуха, специфичных для тех или иных конкретных роботов и их приложений. Примером может служить работа [10], в которой исследуется антропоморфный слуховой сенсор гуманоидного робота. Опыт этих работ показывает необходимость создания слуховых сенсоров, ориентированных на конкретную задачу. Будем далее рассматривать задачу создания слуховых сенсоров для малых мобильных роботов – разведчиков для специальных спасательных операций.

## 2. Экспериментальная установка для исследования системы слуха роботов

**Описание схемы установки.** Все эксперименты проводились на установке (см. рис.1), разработанной в ОРТС ИПИИ (Донецк), функционирующей в не заглушенном помещении в реальных условиях, площадь помещения составляет около 35 кв. м., средняя температура помещения находится в пределах  $17^{\circ}$ - $20^{\circ}$  С. Обычно в помещении работает обогреватель с вентилятором, 2 компьютера, другая техника. Общая схема установки приведена на рис. 1.

Показания (измерения) снимаются при помощи осциллографа С1-101 (производство Украина), универсального вольтметра типа В7 – 16А, источником сигнала (ИС) является звуковой генератор типа ГЗ-107 (производство СССР), нагруженный на динамик мощностью 0.5 Вт.

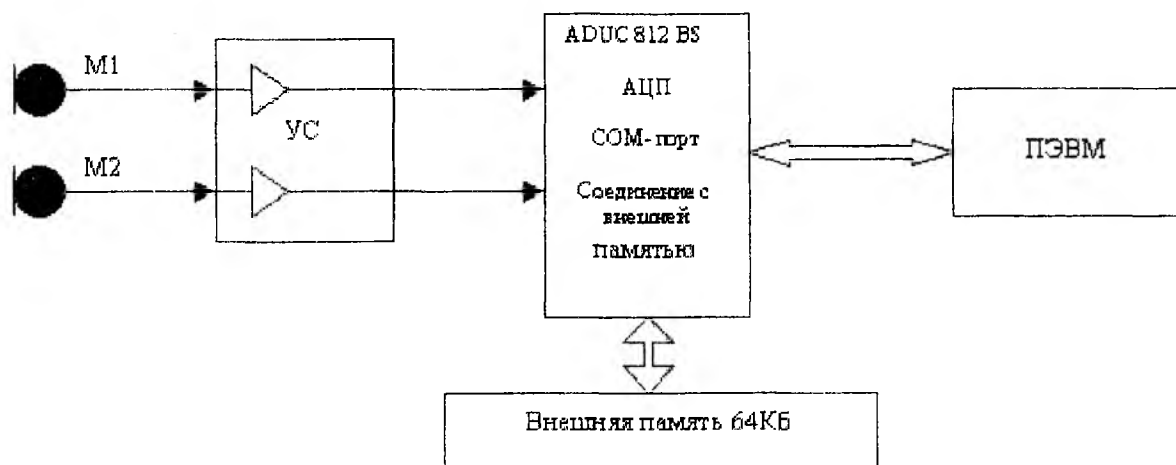


Рис. 1. Функциональная схема устройства снятия сигнала с микрофонов

На рис.1 М1 и М2 – электретные микрофоны, УС – двухкаскадный усилитель для двух каналов на микросхеме LM324N, блок ADUC 812 BS – микросхема со встроенным высокопроизводительным микроконтроллером, совместимым с 8051 MCU со встроенным не разрушаемым FLASH ЭРПЗУ и 12-битным АЦП.

**Геометрическая конфигурация установки для отработки слухового сенсора.** В качестве слуховой системы используется система с двумя микрофонами. Для отработки и калибровки слухового сенсора экспериментальные исследования первоначально ведутся с одним микрофоном (правым и левым поочередно)

Для проведения серии исследований разработана общая методика проведения экспериментов (уточняемая для решения конкретно поставленной задачи). Подготовлена рабочая поверхность, покрытая поролоном толщиной 5 мм, сверху настлана тонкая хлопчатобумажная ткань белого цвета. Для удобства работы и измерений поверхность расчерчена на квадраты размером  $100 \times 100$  мм. Отмечена базовая линия, именуемая в дальнейшем база, на которой расположен микрофон по оси рабочей области (см. рис.2).

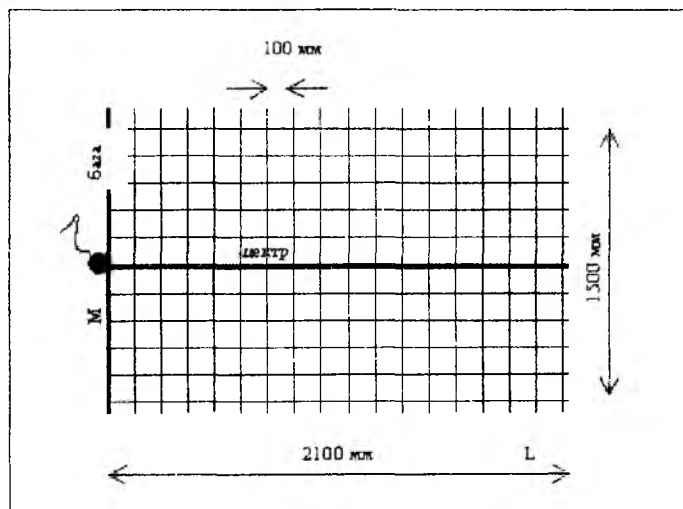


Рис. 2. Рабочая поверхность (вид сверху)

Модельные виды рабочей поверхности (для одного микрофона) сверху и сбоку представлены на рис.2-4.

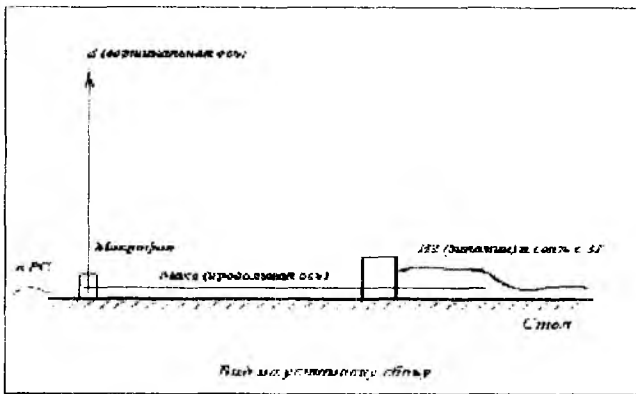


Рис. 3. Модель установки, вид сбоку.

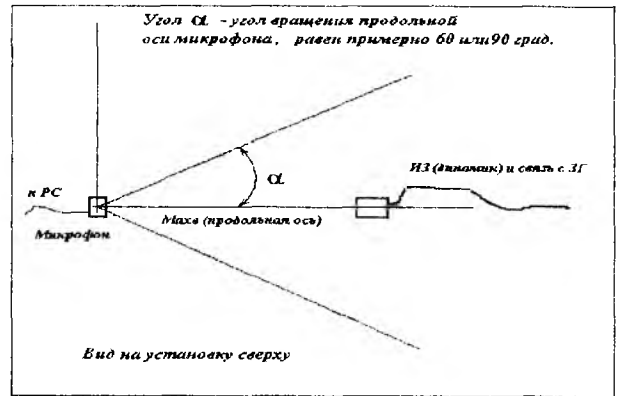


Рис. 4. Модель установки, вид сверху

### 3. Исследования и отработка модели слухового сенсора

**Слуховой сенсор.** В качестве слухового сенсора используется телефонный электретный микрофон. АЧХ этого микрофона имеет рабочую зону (зону максимума) в области частот 300 Гц – 10 КГц, типичных для человеческой речи.

**Формы резонаторов.** Для исследования и отработки модели слухового сенсора изготовлены механические резонаторы, именуемые в экспериментах «уши». Они изготовленные из тонкого картона, обклеенного внутри тонким шерстяным материалом. Формы резонаторов, используемые в экспериментах, представлены на рис. 5 (а-е).

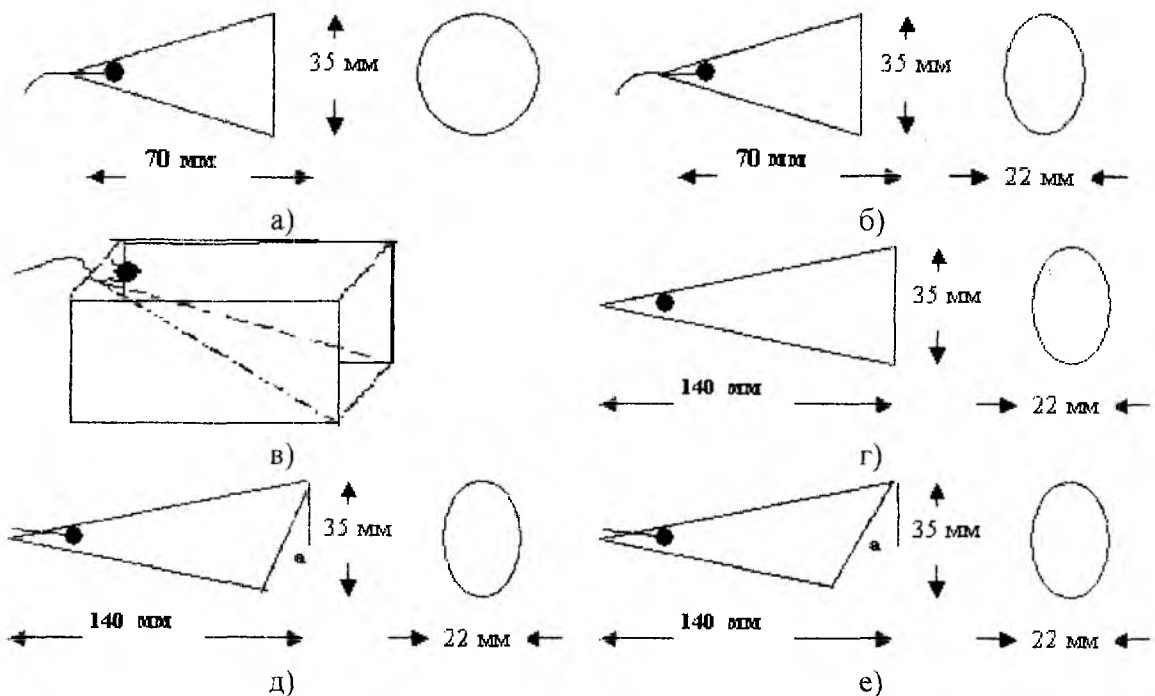


Рис. 5. – Формы механических резонаторов слухового сенсора:

- а) малые уши;
- б) малые «приплюснутые уши»;
- в) «коробка» (прямоугольный коробок, обклеенный внутри шерстяной тканью, часть коробки заложена поролоном);
- г) длинные уши;
- д) скошенные длинные уши 1 ( $\alpha = 45^\circ$ );
- е) Скошенные длинные уши 2 ( $\alpha = 60^\circ$ ).

**Определение «зон чувствительности» микрофонов при различных частотах звукового генератора и с различными резонаторами.** Под «зоной чувствительности» слухового сенсора будем понимать максимальную дальность уверенного приема сигнала микрофоном (расстояние  $L$  на рис.2). Эксперименты по определению зоны чувствительности проводятся по схеме, как показано на рис. 2, когда ИС и микрофон находятся на одной осевой линии, называемой осью рабочей зоны. Методика экспериментов была принята следующей.

Сенсор располагается на оси рабочей поверхности. Принимается первоначальное расстояние между ИС и микрофоном сенсора 300 мм. Далее ИС двигается с постоянным шагом 100 мм по оси рабочей зоны до тех пор, пока не будет определено расстояние, при котором микрофон становится не чувствительным к восприятию сигнала. Все показания на выходе УС фиксируются при помощи осциллографа, вольтметра и АЦП.

Данные проведенных экспериментов (показания вольтметра) с разными резонаторами приведены в табл. 1. В таблице приведены размеры зоны чувствительности в метрах для разных вариантов слуховых сенсоров и разных рабочих частот звукового генератора. Типы резонаторов в таблице соответствуют указанным на рис.5.

Таблица 1

N	Тип резонатора	300 Гц	400 Гц	500 Гц	600 Гц	700 Гц	800 Гц	900 Гц	1000 Гц	1100 Гц	1200 Гц	1300 Гц
1.	Без резонатора	0,45	0,95	0,95	1,05	1,05	1,2	1,45	1,8	1,9	1,95	2,05
2.	а)	0,45	1,1	1,85	1,6	1,8	1,4	1,8	2,6	2,6	2,5	2,6
3.	б)	0,65	1,1	1,75	1,75	1,75	1,65	1,65	2,6	3	2,7	3,1
4.	г)	0,85	1,1	1,9	1,9	2,05	1,95	2,6	3,7	3,8	3,8	4,2
5.	д)	0,8	1,15	1,8	1,75	2,05	2,05	2,3	3	3,5	3,9	4,1

Ниже на рис. 6 те же данные приведены в графическом виде.

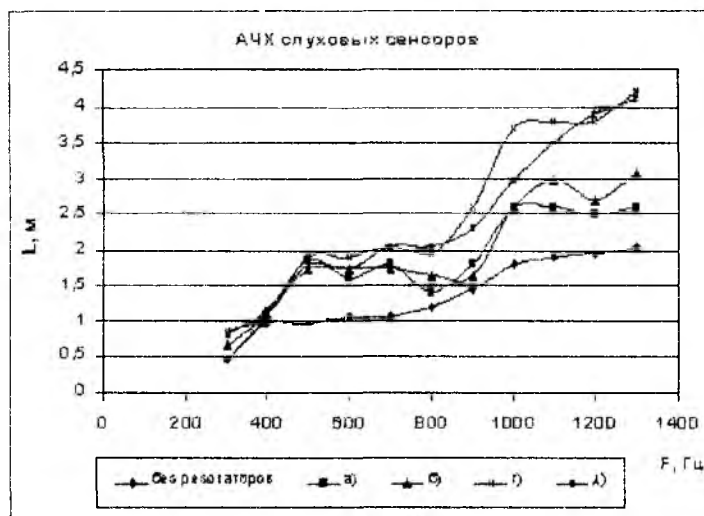


Рис. 6 Сравнительные характеристики слуховых сенсоров

Из таблицы и графиков следует, что для получения максимальной зоны чувствительности наиболее эффективным является резонатор типа г) «длинные уши».

**Определение характеристик «амплитуда - дальность» левого и правого микрофонов. Анализ зависимостей значений амплитуд левого и правого микрофонов от расстояния до ИС при различных боковых смещениях ИС от центра базы. Выполнение данной серии экспериментов проводилось по следующим методикам.**

На базовой линии, именуемой в дальнейшем база, располагается сенсор на оси рабочей поверхности (см. рис. 2, 3). Первоначальное расстояние между ИС и микрофоном сенсора и шаг смещения по центру рабочей зоны приняты такими же, как в предыдущем эксперименте. Максимальное удаление ИС от микрофона сенсора принимается равным длине рабочей поверхности ( $L = 2100$  мм, см. рис. 2) установки.

На рис. 7 (а - в) представлены графики зависимости амплитуды принятого сигнала от расстояния по оси рабочей зоны правого и левого микрофонов и их сравнительные характеристики при частоте звукового генератора 1000 Гц.

Анализ графиков позволяет считать, что наиболее эффективным является резонатор, именуемый в экспериментах «длинные уши». Кроме того из графиков (рис. 7 - а, б) видны зоны, в которых отчетливо наблюдаются всплески, вызванные окружающей обстановкой. Как видно из рис. 7 (в) отклики микрофонов подобны, это позволяет точно определить области, где наблюдается эхо. В данном помещении эти области соответствуют расстояниям 800-900 мм, 1100-1300 мм, 1500-1600 мм и 2000 - 2100 мм. Причем эти области являются характерными и для других частот звукового генератора.

Для «избавления» от таких всплесков были проведены следующие эксперименты. ИС и сенсор поднимали от рабочей поверхности на высоту  $h_1 = 230$  мм. Измерения проводились аналогично выше описанной методике. Графики зависимости амплитуды от расстояния правого и левого микрофонов при различных высотах приведены на рис. 8 (а, б).

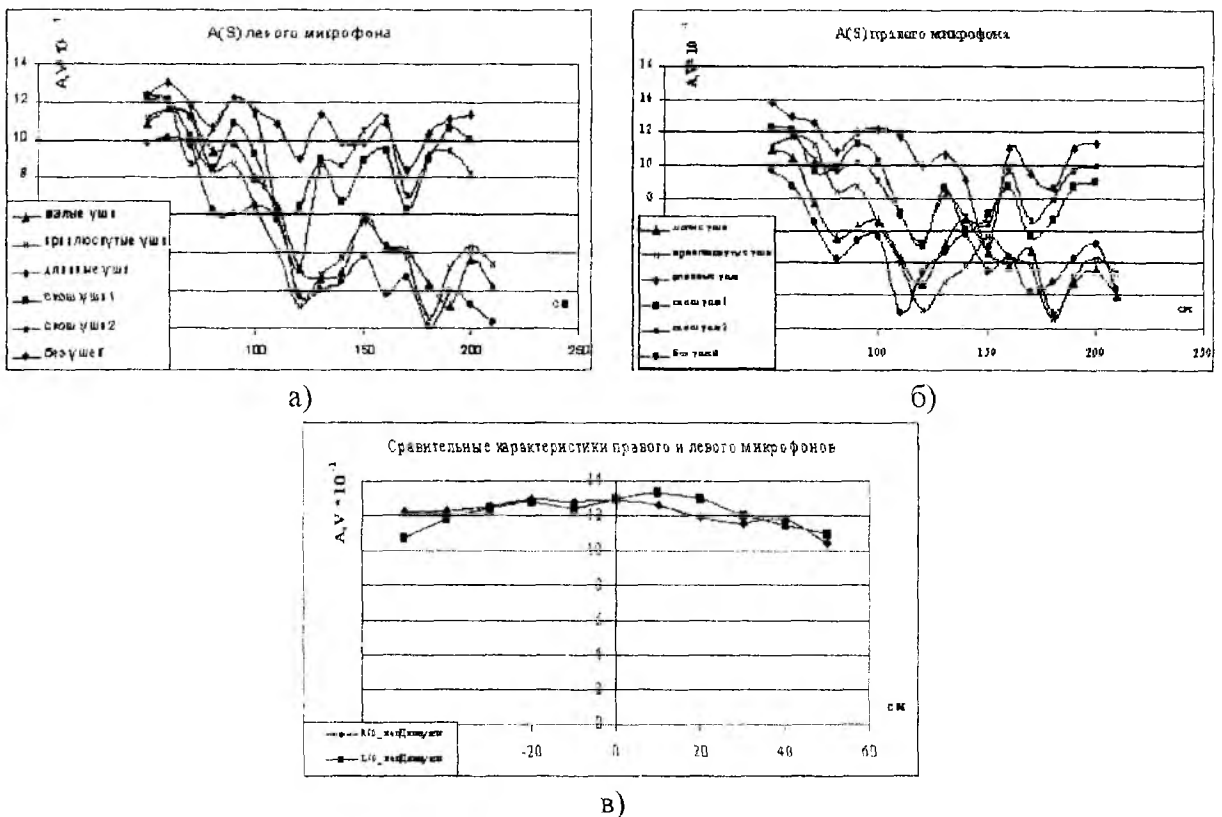


Рис. 7. Графики зависимости амплитуды принятого сигнала (показания вольтметра) без резонатора и при различных формах резонаторов:  
 а) показания левого микрофона, б) показания правого микрофона;  
 в) сравнительные характеристики правого и левого микрофонов.

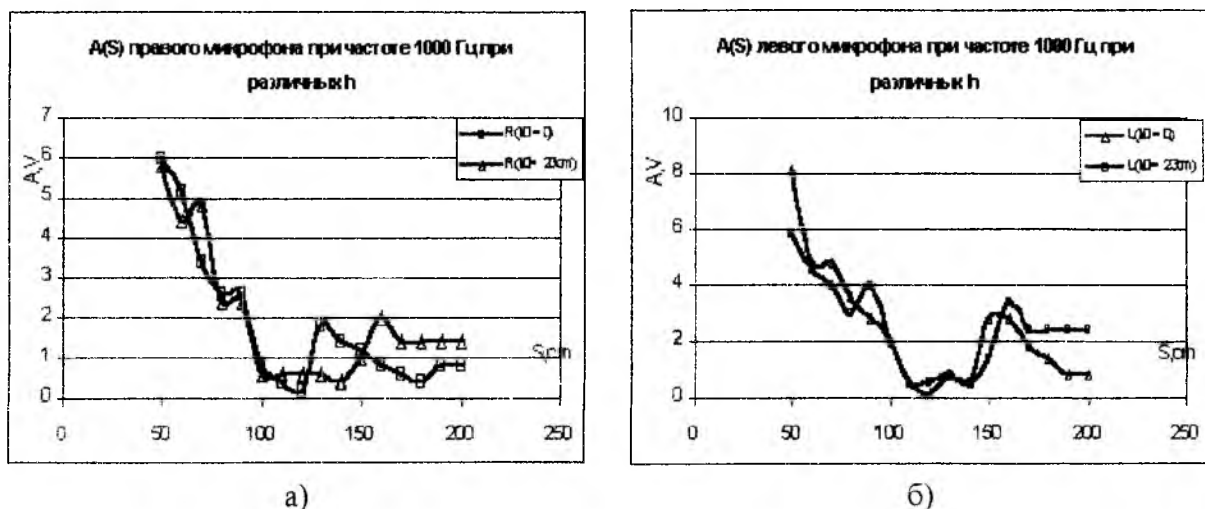


Рис. 8. Графики зависимости амплитуды сигнала (показания вольтметра) правого и левого микрофонов

Данные измерения показали, что расположение сенсора на различные высоты не избавляет от влияния эхо окружающей среды. Аналогичные выводы выполнены в работе [10] (эхо наблюдалось на высоте 1 м).

Анализ зависимостей значений амплитуд левого и правого микрофонов от расстояния до ИС при различных боковых смещениях ИС от центра базы представлен на рис. 9. Максимальное смещение право/лево (параллельно базовой линии) от центра рабочей зоны при различных расстояниях (L, рис.2) принимается  $\pm 500$  мм, шаг смещения 100 мм.

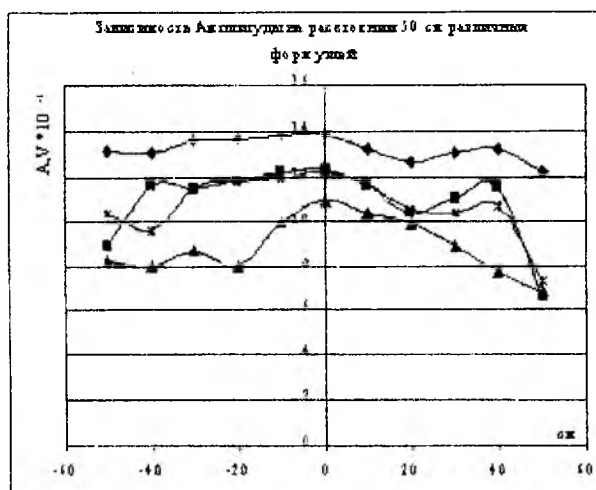


Рис. 9 Анализ зависимостей значений амплитуд левого и правого микрофонов от расстояния до ИС при различных боковых смещениях ИС от центра базы

Верхняя кривая данного рисунка соответствует показаниям сенсора «длинные уши».

Приведенные данные показывают, что наличие резонаторов «длинные уши» позволяет увеличить амплитуду приема сигнала в среднем в 2.5. раза, что и в рассмотренном случае позволяет эффективно увеличить рабочую зону слуховых сенсоров.

На основании всех описанных экспериментов прием для дальнейших исследований резонатор, приведенный на рис. 5 г, именуемый «длинные уши».

## Заключение

Проведенные эксперименты показали принципиальную осуществимость системы технического слуха роботов. В экспериментах также определена форма механического резонатора слухового сенсора, позволяющая получить наибольшую эффективность в задаче определения расстояний до источника звука.

Полученные результаты позволяют далее обоснованно перейти к задаче акустической пеленгации источников звуковых сигналов малыми мобильными роботами.

## Выводы

1. Проведенные эксперименты показали достаточную близость акустоэлектрических характеристик микрофонов, что упрощает проблему их взаимных калибровок.

2. Исследования подтвердили наличие сложной звуковой картины в закрытом помещении. Даже при одном источнике простого гармонического сигнала микрофоны фиксировали несколько эхо-зон в рабочей области установки. Исследование эхо-зоны при различных расположениях микрофонов над рабочей поверхностью не позволили устранить эхо-помехи, возникающие в реальных условиях. Неоднозначность, возникающая в эхо-зонах, требует дополнительного исследования данного вопроса.

3. Использование резонаторов рассмотренных форм существенно повышает акустическую чувствительность слуховых сенсоров.

4. При наличии резонаторов «длинные уши» амплитуда принятого сигнала возрастает в 2.5 раза, зона приема сигнала увеличивается в 3-5 раз. Будем считать данную форму резонатора оптимальной для рассматриваемого случая.

5. Полученные характеристики слуховых сенсоров оказались достаточно устойчивыми. Они позволяют перейти к решению задач пеленгации ИС в плоской постановке задачи в зонах отсутствия эхо-помех.

**Список литературы:** 1. *Zhengyou Zhang*. Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review // INRIA, размещена на сайте <http://www.inria.fr/rrrt/rr-2927.html/>. 2. *M. Kimura, H. Saito, and T. Kanade*. Voxel Construction based on Epipolar Geometry // Proceedings of the 1999 International Conference on ImageProcessing, Vol. 3, October, 1999, pp. 135 – 139, размещена на сайте [http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub\\_3073.html](http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub_3073.html). 3. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001) // Труды конференции (Proceedings on CD). *K. Nakadai, T. Lourens, H. G. Okuno, and H. Kitano*. Active audition for humanoid // in Proceedings of 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), p. to appear, AAAI, 2000. 4. *O. D. Faugeras*. Three Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint. MA: The MIT Press, 1993. 5. *Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В.* Технология применения дистанционно управляемых мобильных комплексов. // Специальная техника. – 2000 - №3, сайт <http://st.ess.ru/publications/articles/batanov2/batanov2.htm>. 6. *Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В.* Робототехнические комплексы для применения в условиях чрезвычайной ситуации. // Специальная техника. – 2000, №2, сайт <http://www.bnti.ru/scripts/articles.asp?lvl=04.&tb=04.17>. 7. *Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В.* Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций. // Специальная техника. – 1996 - №6, сайт <http://www.bnti.ru/scripts/articles.asp?lvl=04.&tb=04.17>. 8. *Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В.* Мобильные роботизированные взрывотехнические комплексы. // Специальная техника. 2000 №1, сайт <http://www.bnti.ru/scripts/articles.asp?lvl=04.&tb=04.17>. 9. *Kazuhiro Nak adai, Hiroshi G. Okuno, Hiroaki Kitano*. Epipolar Geometry Based Sound Localitation and Extraction for Humanoid Audition // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), размещена на сайте <http://www.inria.fr/rrrt/rr-2927.html/>.

Поступила в редколлегию 13.04.2004

УДК 004.934.1

М. А. КРУТЬКО

## СПОСОБЫ ОБУЧЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ КОХОНЕНА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ФОНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И СИМВОЛЬНЫМ ДАННЫМ

### Введение

На данном этапе исследований, подробно рассматриваемых в [1], выходным результатом работы адаптивной сети Кохонена является вектор фонемной классификации, представляющий собой последовательность номеров классов, соответствующих фонемным сегментам в сигнале. Далее необходимо сопоставить каждому такому сегменту некоторый символ, который будет обозначать соответствующую фонему. Можно выделить два варианта обучения символьной информации:

- обучение с учителем;
- обучение дополнительного символьного слоя сети.

Необходим также алгоритм, позволяющий дообучать сеть, учитывая как фонетическую, так и символьную информацию.

### 1 Способы обучения нейросети символьным данным

**1.1 Обучение с учителем.** Вариант обучения с учителем является наиболее простым, так как предусматривает непосредственное участие эксперта в обучении сети. Пусть имеется некоторая последовательность, значениями которой являются номера классов фонем. Пока что это только цифровые значения, которым еще не сопоставлена никакая символьная информация. Данная последовательность получена после предварительной сегментации, где каждый класс соответствует некоторому однородному участку сигнала, соответствующему определенной фонеме в слове. Если же фонема неоднородна, то есть спектральная информация отличается в пределах одной фонемы, то сеть может разбить соответствующий участок сигнала (сегмент) на две или более части, что в принципе оправдано. Учителю же необходимо сопоставить каждому фонемному сегменту определённый символ–литеру, которая будет обозначать данную фонему. Пример такого сопоставления показан на рис. 1.

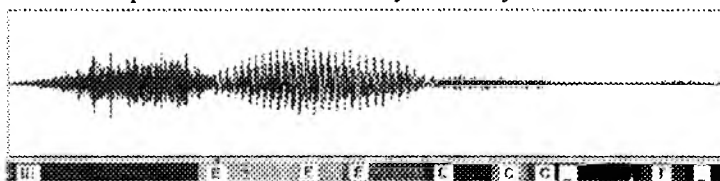


Рис. 1. Литеральное обозначение сегментов в слове «ШЕСТЬ»

После того как фонемы произнесенного слова обозначены литерами, система выдает его литерацию в виде строковой переменной, которая затем будет сравниваться с транскрипциями слов из словаря. Таким образом, нейроны, соответствующие присутствующим в сигнале фонемам, будут обозначены определенными символами. В словарь можно вносить любые слова, содержащие данные буквы. После такого сопоставления символов сеть может быть доучена любым новым фонемам. Для этого достаточно произнести новое слово, в котором присутствуют необходимые фонемы, и сопоставить уже новым активизированным нейронам новые литеры. Однако в силу специфики процесса обучения самой сети, это может повлиять на уже обозначенные нейроны, изменяя их весовые коэффициенты, что приведет к смещению ядер классов соседствующих фонем в пространстве признаков. Решение данной проблемы будет описано в п. 2.

При обучении с учителем используемая нейронная сеть представляет собой трёхслойную структуру (рис. 2), состоящую из:

- входного слоя, на который подаются значения векторов признаков;
- фонемного слоя, представляющего из себя прямоугольную карту нейронов, каждый из которых хранит в своих весовых коэффициентах координаты центра класса той или иной фонемы;

- эффекторного слоя, на который подаются векторы активностей нейронов от второго слоя для определения нейрона-победителя.

Ширина эффекторного слоя равна количеству литер транскрипционного алфавита. При обозначении нейронов литерами символичные значения присваиваются нейронам эффекторного слоя.

**1.2 Введение дополнительного символического слоя.** Обучение с учителем является простым и эффективным способом сопоставления символической информации с нейронами, однако существует возможность автоматизировать этот процесс, несколько дополнив уже существующую архитектуру сети. Это позволяет также решить задачу уменьшения задействованных нейронов, описывающих одну фонему. Как было отмечено в п. 1.1, в связи с возможностью заметного изменения частотной характеристики в пределах одной фонемы на один фонемный участок может приходиться несколько нейронов, поэтому встает задача уменьшения количества нейронов без потери информации на каждом из них. Для этого вводится дополнительный слой, также представляющий собой нейросеть Кохонена квадратной или линейной топологии, где линейное расположение нейронов предпочтительнее, так как это упрощает вычисления и сокращает затраты памяти. Пример данной структуры показан на рис. 3.

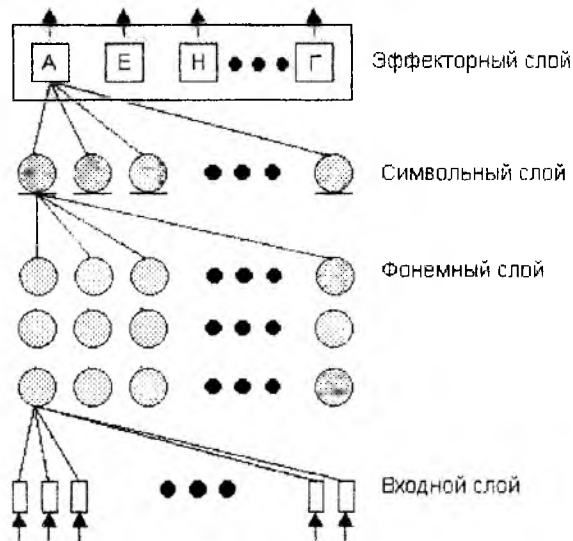
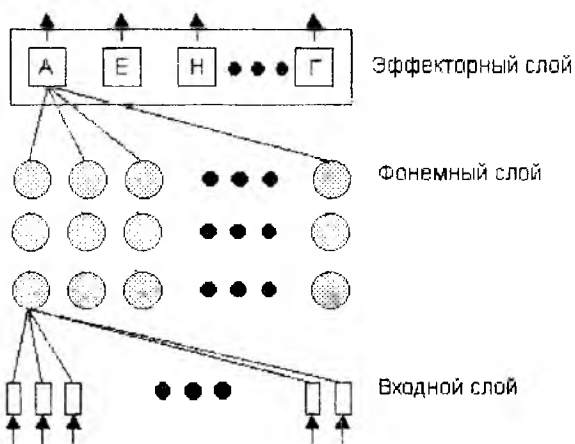


Рис. 2. Трёхслойная структура сети

Рис. 3. Четырёхслойная структура сети

На вход символического слоя подаются векторы функции активности нейронов фонемного слоя, которые фактически являются резонансными функциями принадлежности классов. Поскольку после обучения фонемного слоя для одного и того же вектора признаков функция активности будет отличаться, то символический слой также потребует переобучения.

Количество нейронов в символическом слое может быть установлено двумя способами – по известной транскрипции и без таковой. Это зависит от режима работы сети – обучения либо распознавания. В первом случае это удобно для сегментации, так как количество нейронов определяет число сегментов. Во втором случае активны все нейроны, покрывающие всё фонетическое множество, число которых равно числу символов транскрипционного алфавита.

При обучении новым фонемам мы знаем какое слово произносим, соответственно можем задать транскрипцию и установить число нейронов, равное количеству задействованных литер данной транскрипции. Тогда после обучения слоя каждой фонеме будет соответствовать только один нейрон, покрывающий несколько нейронов фонемного слоя.

Необходимо также отметить, что на этапе распознавания количество нейронов в символическом слое должно полностью покрывать всё фонетическое множество. Соответственно

их число должно быть равно числу символов транскрипционного алфавита, при том что количество нейронов фонемного слоя должно превышать его для более точного выделения фонемных кластеров в пространстве признаков.

## 2 Способы обучения нейронной сети дополнительной фонетической информации

Задача обучения сети Кохонена дополнительной информации является очень существенной при формировании фонетической базы данных. Это связано с тем, что обучающая выборка никогда не покрывает всё множество фонем, так как обычно представлена одним словом, в котором задействовано всего несколько фонем. Стандартный же подход к обучению сетей Кохонена предполагает наличие полной обучающей выборки, где сеть можно лишь полностью переучить. Следовательно, возникает необходимость решения задачи дополнительного обучения сети.

**2.1 Алгоритм селективного обучения адаптивных сетей Кохонена.** Прежде чем переходить непосредственно к данному алгоритму обучения, опишем вкратце способ полного обучения данного вида сетей. Обучение состоит из последовательной коррекции векторов представляющих весовые коэффициенты нейронов. На каждом шаге обучения из исходного набора данных случайно выбирается один из векторов, а затем производится поиск наиболее похожего на него вектора коэффициентов нейрона. При этом выбирается нейрон-победитель который наиболее близок к вектору входов. Близость в данном случае определяется евклидовым расстоянием между векторами [2]. Таким образом, если обозначить нейрон-победителя через  $c$ , то получим

$$\|x - w_c\| = \min_i (\|x - w_i\|). \quad (1.1)$$

После того как найден нейрон-победитель, производится корректировка весов нейросети. При этом вектор, описывающий нейрон-победитель и векторы, описывающие его соседей в сети, перемещаются в направлении входного вектора, для модификации весовых коэффициентов используется формула:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + h_{ci}(t)[x(t) - w(t)], \quad (1.2)$$

где  $t$  обозначает номер эпохи (дискретное время).

При этом вектор  $x(t)$  выбирается случайно из обучающей выборки на итерации  $t$ . Функция  $h(t)$  называется функцией интенсивности обучения окрестности и отражает соседство нейронов. Эта функция представляет собой невозрастающую функцию времени и расстояния между нейроном-победителем и соседними нейронами в сети. Данная функция разбивается на две части: собственно функцию расстояния в окрестности и функцию активности внимания. Функция расстояния в окрестности и активность внимания сети определяют интенсивность обучения:

$$h(t) = h(\|r_c - r_i\|, t) a(t), \quad (1.3)$$

где  $g$  определяет положение нейрона в сети.

Обычно применяется одна из двух функций от расстояния: простая константа

$$h(d, t) = \begin{cases} const, & d \leq \sigma(t) \\ 0, & d > \sigma(t) \end{cases} \quad (1.4)$$

или гауссова функция

$$h(d, t) = e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2(t)}}. \quad (1.5)$$

При этом лучший результат получается при использовании гауссовой функции расстояния. При этом функция сигма является убывающей функцией времени. Часто эту величину называют радиусом обучения, который выбирается достаточно большим на начальном этапе обучения и постепенно уменьшается так, что в конечном итоге обучается один нейрон-победитель. Наиболее часто используется линейно убывающая функция времени.

Рассмотрим теперь функцию активности внимания  $a(t)$ , в данном случае определяемую как скорость обучения. Эта функция также представляет собой убывающую функцию времени. Наиболее часто используются два варианта этой функции: линейная и обратно пропорциональная функция времени вида

$$a(t) = \frac{A}{t + B}, \quad (1.6)$$

где  $A$  и  $B$  – константы.

Применение этой функции активности приводит к тому, что все векторы из обучающей выборки вносят примерно равный вклад в результат обучения. Обучение состоит из двух основных фаз: на первоначальном этапе выбирается достаточно большое значение функции активности и радиуса обучения, что позволяет расположить векторы нейронов в соответствии с распределением примеров в выборке, а затем производится точная подстройка весов, когда значения параметров активности внимания много меньше начальных.

Как было сказано выше, данная схема позволяет лишь полностью переобучить сеть с потерей всей ранее хранимой информации. Исходя из этого, необходим способ, позволяющий произвольно обучать сеть новой информации, не подвергая модификации определенные, уже обученные нейроны. Данную проблему можно решить двумя способами – варьированием параметров функции интенсивности обучения (1.3), а именно начального радиуса обучения и начального значения функции активности  $a(t)$  (также называемой скоростью обучения) (1.6), а также «замораживанием» нейронов, не нуждающихся в обучении. Такими нейронами являются те нейроны, которые были обозначены литерами на этапе символьного обучения с учителем.

Каким же образом функция  $a(t)$  влияет на динамику обучения сети? Если бы она была константой и равнялась 1, то для каждого входного вектора вектор связей нейрон-победителя приравнивался бы к нему. Как правило, для каждого нейрона существует множество входных сигналов, которые могли бы его активировать, и его вектор связей постоянно менялся бы. Если же  $a < 1$ , то на каждый входной сигнал вектор связей реагирует незначительно. Уменьшая  $a$  в процессе обучения, мы в конце обучения получим статистическое усреднение схожих входных сигналов.

Чем же определяется скорость обучения? Здесь главную роль играет порядок предъявления образцов. Допустим, имеется некоторая обучающая выборка, в результате последовательного предъявления элементов которой обучается нейросеть. Если скорость обучения велика, то уже на середине этой выборки нейросеть «забудет» предыдущие элементы. А если каждый образец предъявляется подряд много раз, то уже на следующем образце нейросеть забудет предыдущий. Таким образом, главный критерий выбора начальной скорости обучения – незначительное изменение связей в пределах всей обучающей выборки. Экспериментально было установлено, что при дообучении сети начальное значение функции скорости обучения должно быть в 2-3 раза меньше, чем при обычном обучении. Начальный радиус окрестности обучения  $R$  также не должен быть слишком большим, так как в этом случае будут модифицироваться нейроны, не нуждающиеся в модификации, поэтому он должен быть меньше обычного в 3-4 раза.

Однако при том, что данный подход к обучению нейросети оказался эффективным, он всё же имеет один недостаток. Нейроны, модификация которых нежелательна, всё же подвергаются изменению, что приводит к смещению центров ядер фонетических классов, и если на небольшом количестве обучающих примеров это смещение незначительно, то при обуче-

нии на большом количестве примеров смещение становится критическим, и точность распознавания ранее известных фонов заметно уменьшается.

Для решения этой проблемы было применено так называемое «замораживание» нейронов, которое позволяет в процессе дальнейшего обучения не модифицировать те нейроны, которым уже сопоставлена литера из транскрипционного алфавита. Алгоритм такого избирательного или селективного обучения нейронной сети представлен на рис. 4.

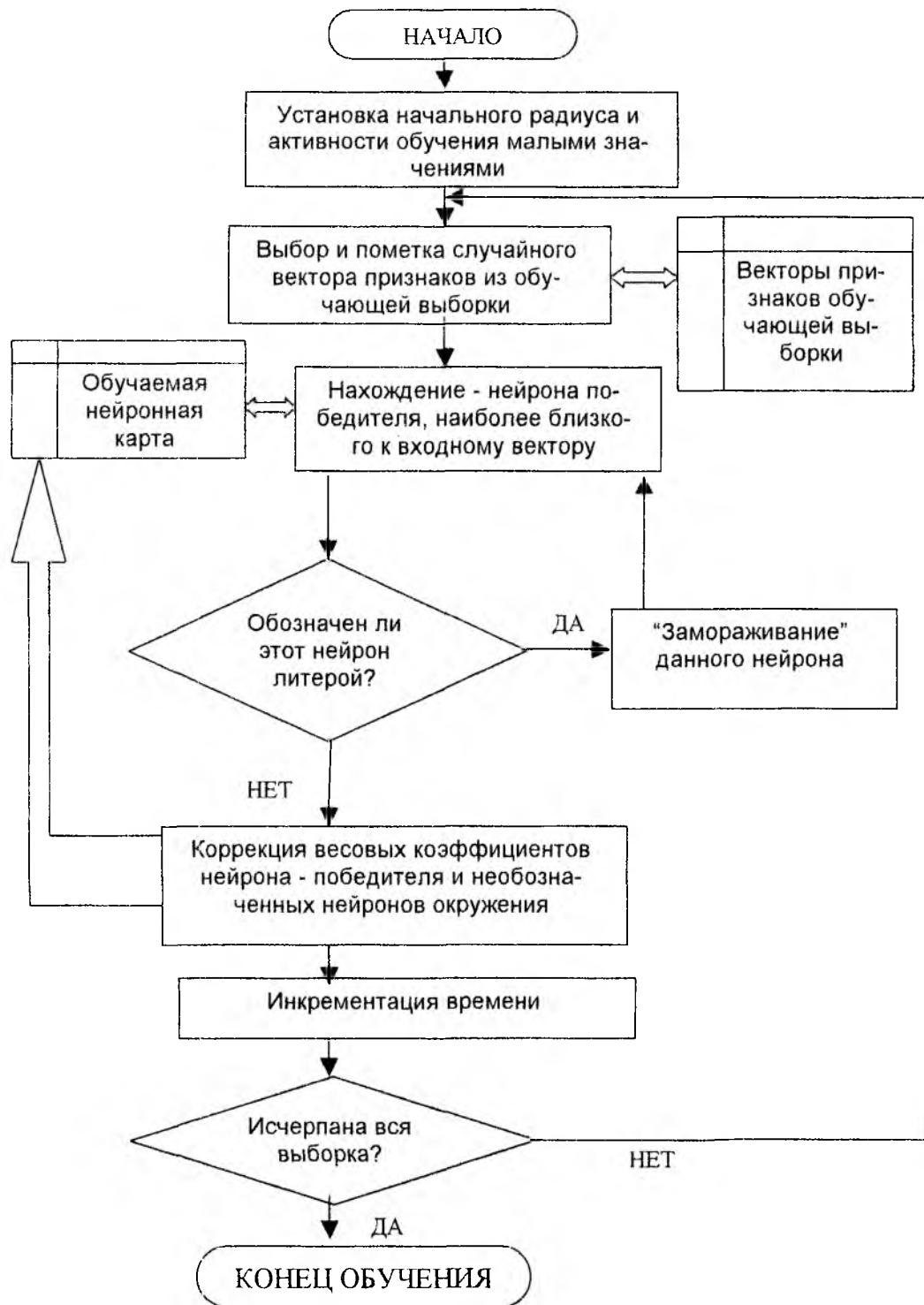


Рис. 4. Блок-схема алгоритма селективного обучения нейросети

Эксперименты показали, что данный алгоритм оказался очень эффективным и позволяет обучать нейросеть любое число раз, не рискуя исказить информацию в фонемных эталонах. Это также позволило увеличить начальные значения функций активности и радиуса обучения, благодаря чему можно задействовать большее число нейронов при обучении новой фонетической информации.

### **Выводы**

В данной работе были описаны два способа обучения нейронной сети Кохонена символьной информации, один из которых применим для модифицированной структуры сети, а также алгоритмы селективного обучения фонетической информации с незначительной модификацией и без модификации хранимых данных. На основе работы описанных алгоритмов имеется возможность обучать сеть произвольное число раз до исчерпания нейронной памяти, а также автоматически сопоставлять фонетическим сегментам символьную информацию. Благодаря решенным задачам, система может производить литерацию входного сигнала, где выходными данными является символьная строка, и это завершающий этап обработки речевого сигнала. Дальнейшей задачей является сопоставление полученной литерации со словами транскрипционного словаря и выбор максимально близкого к этой литерации слова, что является конечным результатом в распознавании изолированных слов.

**Список литературы:** 1. *Крутько М.А.* Фонетическая классификация и задача сегментации речевого сигнала с применением адаптивных нейронных сетей // Искусственный интеллект. 2003. №3. С. 411 – 420. 2. *T. Kohonen.* Self-Organizing Maps. Springer, 1995. 3. *Горбань А.Н., Россиев Д.А.* Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука (Сиб. отделение), 1996.

*Поступила в редколлегию 19.03.2004*

УДК 519.876.2

*Р.Т. ГАЗИМОВ, О.А. КРИВОДУБСКИЙ*

## **ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗАХ ДАННЫХ**

### **Актуальность исследования**

Решение технических задач требует постоянной обработки больших объемов графической информации. Если поступающие данные хранить в базах данных (БД) в неструктурированном виде, обращение к ним приводит к значительным затратам времени. Поэтому актуальна задача рационального размещения изображений в памяти ЭВМ и эффективности последующей работы с ними.

### **Анализ исследований и публикаций**

Вопросам структурного поиска изображений в БД посвящена работа [1], индексации изображений – [2], исследованиям в области обработки, хранения и поиска изображений – [3].

Разработкой и технической реализацией специализированных БД изображений, таких как база изображений заболеваний щитовидной железы – [4] или музейных экспонатов – [5], занимаются проектные группы институтов.

Из зарубежных исследований стоит отметить проекты [6] и [7].

### **Цель и задачи исследования**

Объектом данного исследования является человек в системе принятия решений по размещению изображений в БД (далее система размещения). В качестве предмета исследования выступает методология принятия решений по размещению изображений в БД.

Под размещением изображения понимается определение его координат в упорядоченном определенным образом пространстве.

Согласно существующей методологии, система размещения представлена вспомогательными подсистемами и оператором, который непосредственно выполняет размещение изображений. К вспомогательным относятся подсистемы получения и хранения изображений, а также подсистема статистического анализа их характеристик.

Цель данного исследования – определить правила, позволяющие автоматизировать процесс организации БД, предназначенных для размещения изображений.

Задачами исследования являются анализ процесса принятия решений по размещению изображений оператором и разработка модели размещения изображений в базах данных.

Для решения поставленных задач необходимо, путем экспертного анализа работы операторов, определить структуру объекта управления, классифицировать его переменные, формализовать их и описать связи между ними, определить структуру БД изображений и правила ее заполнения; на основе полученных данных сформулировать физическую постановку задач оптимального размещения изображений.

### **Основная часть**

Анализ наблюдений за работой операторов по размещению изображений в БД позволил выделить следующую последовательность действий:

- выбор изображения из списка;
- определение сцены и выделение значимых объектов;
- отнесение изображения к определенному классу;
- размещение изображения в соответствии с его принадлежностью к классу.

Переменные объекта управления можно разбить на следующие классы: входные, промежуточные, выходные и управляющие.

В качестве входной переменной объекта служит  $\bar{IL}$  – список изображений, которые необходимо разместить в БД. Промежуточные переменные:  $i$  – индекс размещаемого изображения,  $IR$  – растр изображения,  $S$  – структурный образ изображения,  $\bar{CS}$  – множество классов изображений, существующих в БД,  $\bar{IC}$  – информация о классификации изображения,  $\bar{Y}$  – правила размещения изображения. Выходными переменными являются хранимые в структурированной части БД:  $\bar{IL}^S$  – структурированный список изображений и  $\bar{RLS}$  – множество связей между изображениями и образами изображаемых предметов. В роли управляющих переменных выступают требования:  $\bar{U}_1$  – выбора изображения,  $\bar{U}_2$  – анализа изображения,  $\bar{U}_3$  – классификации изображения,  $\bar{U}_4$  – размещения изображения в БД.

Определив переменные и зная последовательность действий оператора, можно построить структурную схему системы размещения, рис. 1. Учитывая, что система с оператором является адаптивной, в данную схему были добавлены блоки адаптации требований и множества классов.

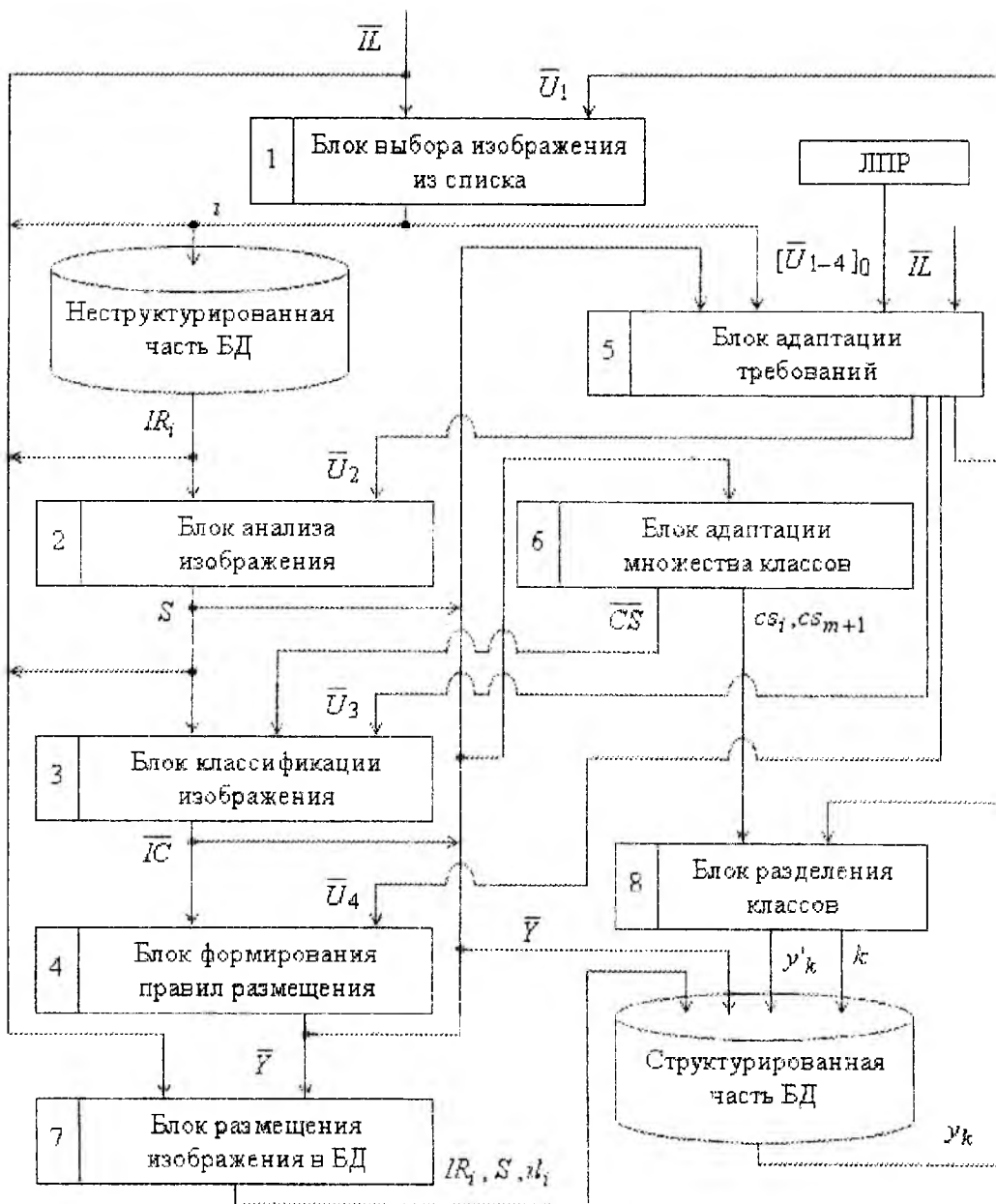


Рис. 1. Структура системы размещения изображений в базах данных

Согласно данной схеме система функционирует следующим образом.

Блок 1 – выбора – из списка выбирает соответствующее требованиям  $\overline{U}_1$  изображение и определяет его индекс.

Список изображений представляется таблицей вида (1), содержащей характеристики отдельных изображений.

$$\overline{IL} = \{il_i\}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $il_i$  – множество характеристик  $i$ -го изображения;  $n$  – общее число изображений, шт.

К характеристикам изображения можно отнести размеры и разрешение изображения, дату и источник поступления. Тогда  $il_i$  имеет вид кортежа (2).

$$il_i = \langle l, h, r, is, ed, es \rangle, \quad (2)$$

где  $l$  – длина изображения, мм;  $h$  – ширина изображения, мм;  $r$  – разрешение изображения, пиксель/мм;  $is$  – объем памяти, занимаемый изображением, байт;  $ed$  – дата поступления изображения;  $es$  – источник поступления изображения.

Если считать выбор нечетким [8], требования  $\overline{U}_1$  принимают вид нечеткого множества (3). Все его элементы также являются нечеткими множествами.

$$\overline{U}_1 = \{[sed, \mu(sed)], [ses, \mu(ses)], [sis, \mu(sis)], [sr, \mu(sr)], [sl, \mu(sl)], [sh, \mu(sh)]\}, \quad (3)$$

где переменные представляют условия по:  $sed$  – дате;  $ses$  – источнику поступления;  $sis$  – размеру в байтах;  $sr$  – разрешению;  $sl$  – длине;  $sh$  – ширине.  $\mu(\cdot)$  – характеристическая функция принадлежности, определяет значимость элемента. Значение  $\mu(\cdot) \in [0, 1]$ .

Определив индекс изображения, система запрашивает из неструктурированной части БД его растр –  $IR_i$ , который представляет собой множество пикселей [9].

Блок 2 – анализа – обрабатывает данный растр и на основании требований  $\overline{U}_2$  вида (4) определяет структурный образ изображения, представленный в виде (5).

$$\overline{U}_2 = \langle k_{er}, t_{th}, v_{th} \rangle, \quad (4)$$

где  $k_{er}$  – коэффициент эрозии, определяющий детализацию при сегментации изображения;  $t_{th}$  – пороговое время выполнения анализа,  $v_{th}$  – пороговый объем структурного образа изображения.

$$S = \langle C, O, A \rangle, \quad (5)$$

где  $C$  – информация о цвете;  $O$  – информация о контурах;  $A$  – информация об областях одного тона.

Состав структурного образа был определен, опираясь на исследования особенностей восприятия человеком зрительных образов [10]. Такой подход позволил определить только значимые для человека характеристики изображения, в результате чего исходные данные блока 3 – классификации – подобны тем, которыми оперирует оператор при выполнении данных действий. Классификация изображений осуществляется на основании требований  $\overline{U}_3$  вида (6) и информации о множестве классов  $\overline{CS}$  вида (8).

$$\overline{U}_3 = \{SBJ_j\}, j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где  $m$  – число предметов, по которым происходит классификация,  $SBJ_j$  –  $j$ -й предмет классификации представленный кортежем (7).

$$SBJ_j = \langle sbj, \mu(sbj), tc, ac, bkd, bmc, bv \rangle, \quad (7)$$

где  $sbj$  – образ предмета классификации;  $\mu(sbj)$  – значимость предмета;  $tc$  – требуемое время классификации;  $ac$  – требуемая точность классификации;  $bkd$  – пороговая мера бли-

зости к ядру класса;  $bmc$  – пороговые вероятности ошибок классификации для данного предмета;  $bv$  – пороговая размерность кластера.

$$\overline{CS} = \{class_j\}, j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

где  $class_j$  – информация вида (9) об отдельных классах.

$$class_j = \langle M, \sigma, v \rangle, \quad (9)$$

где  $M$  – математическое ожидание, соответствующее ядру класса;  $\sigma$  – СКО в классе;  $v$  – объем кластера.

Принадлежность изображения данным классам определяется по алгоритму, приведенному на рис. 2.

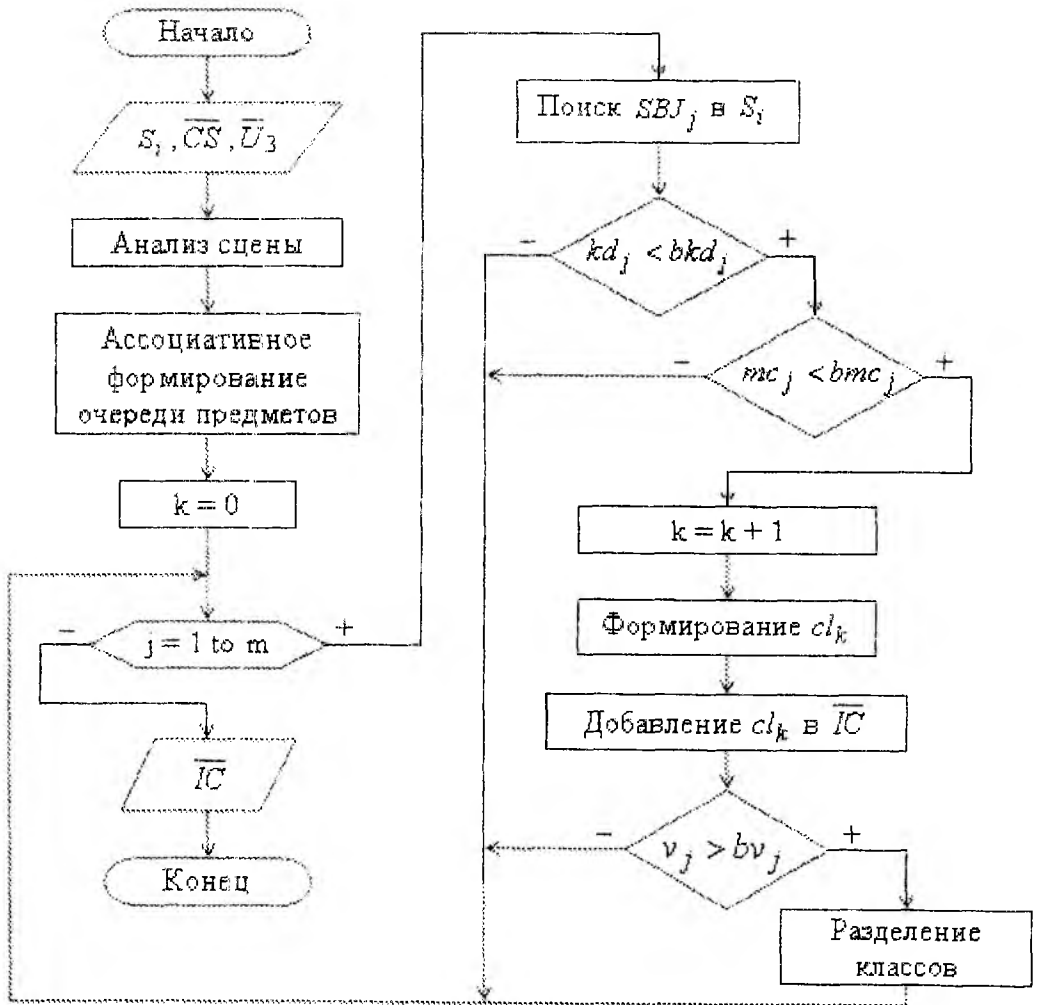


Рис. 2. Алгоритм получения классификационной информации

Полученная в результате работы алгоритма классификационная переменная  $\overline{IC}$  является множеством вида (10), содержащим информацию о предметном содержании изображения.

$$\overline{IC} = \{cl_k\}, k = \overline{1, p}, \quad (10)$$

где  $cl_k$  – кортеж вида (11), содержащий информацию о принадлежности рассматриваемого изображения классу  $j$ -го предмета,  $p$  – число классов, удовлетворяющих требованиям  $\overline{U}_3$ .

$$cl_k = \langle j, kd, mc \rangle, \quad (11)$$

где  $j$  – номер класса,  $kd$  – мера близости к ядру класса,  $mc$  – вероятность ошибок классификации.

С помощью полученной  $\overline{IC}$  блок 4 – формирования правил размещения – с учетом требований  $\overline{U}_4$  вида (14) выработает правила размещения изображения  $\overline{Y}$ , которые имеют вид (12).

$$\overline{Y} = \langle dl, coi, pc, t_a \rangle, \tag{12}$$

где  $pc$  – условия размещения в базе данных,  $dl$  – мера потери информации,  $\overline{coi}$  – условия индексации в классах вида (13),  $t_a$  – время доступа к изображению.

$$coi_k = \{cl_k, imadr\}, \tag{13}$$

где  $imadr$  – адрес изображения в списке изображений, заполняется в блоке 7 – размещения.

$$\overline{U}_4 = \{\langle j, \Psi_j \rangle\}, j = \overline{1, m}, \tag{14}$$

где  $\Psi_j$  – условия значимости параметров классификации, представленные нечетким множеством (15).

$$\Psi_j = \{\mu(j), [kd, \mu(kd)], [mc, \mu(mc)]\}, \tag{15}$$

где  $\mu(j)$  – значимость  $j$ -го класса.

После определения правил размещения блок 7 размещает по ним данный растр в структурированной части БД, определяя таким образом его физический адрес. Элементы  $\overline{coi}$  передаются в отдельные множества классов. Переменные  $i, S, \overline{IC}, \overline{Y}$  передаются в блок 5 – адаптации – который в соответствии с ними модифицирует требования  $\overline{U}_1 - \overline{U}_4$ , после чего происходит переход к новому изображению.

Система завершает работу после перебора всех входящих изображений. Результатом ее работы является содержимое реляционной базы данных, представленной на рис. 3.

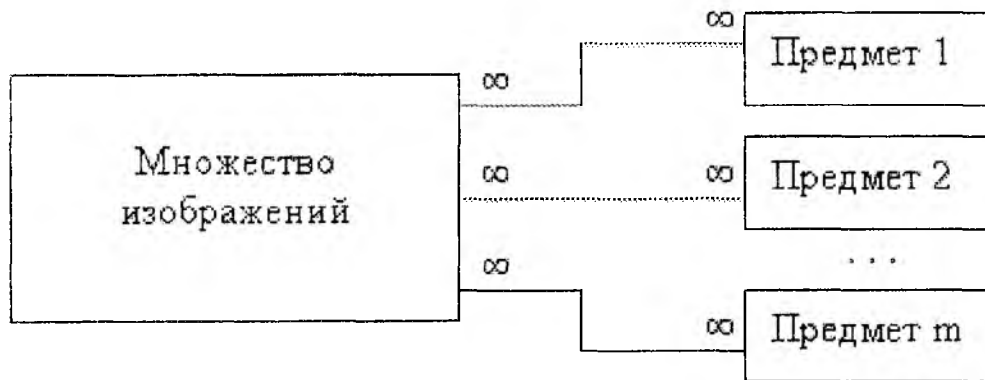


Рис. 3. Результирующая БД

Как видно из рис. 3, содержимое БД можно условно разделить на две части:  $\overline{IL}^S$  – структурированное множество изображений вида (16) и  $\overline{RLS}$  – множество связей предметов и их изображений вида (18). Многосвязность БД объясняется тем, что возможно существование множества изображений одного предмета, в то же время одно изображение может содержать множество предметов.

$$\overline{IL}^S = \{rec_l\}, l = \overline{1, n}, \tag{16}$$

где  $rec_l$  – запись об  $l$ -м изображении вида (17).

$$rec_l = \{il_l, S_l, da_l\}, \tag{17}$$

где  $da_l$  – адрес растра изображения на диске.

$$\overline{RLS} = \{rel_j\}, j = \overline{1, m}, \quad (18)$$

где  $rel_j$  – множество связей  $j$ -го предмета размерности  $q$  и вида (19).

$$rel = \{y_k\}, k = \overline{1, q}, \quad (19)$$

где  $y_k$ , аналог  $coi_k$  вида (13) – запись о связи  $j$ -го предмета и изображения, хранимого по адресу  $imadr$ .

Определив в процессе описания работы системы структуру переменных, на основании схемы с рис. 1 опишем связи между отдельными переменными формулами (20)–(28):

$$i = f_1(\overline{IL}, [\overline{U}_1]_{i-1}) \quad (20)$$

$$S_i = f_2(IR_i, [\overline{U}_2]_{i-1}) \quad (21)$$

$$\overline{IC}_i = f_3(S_i, \overline{CS}_{i-1}, [\overline{U}_3]_{i-1}) \quad (22)$$

$$\overline{Y}_i = f_4(\overline{IC}_i, [\overline{U}_4]_{i-1}) \quad (23)$$

$$[\overline{U}_1]_i = f_5(i, \overline{IL}, S_i, \overline{IC}_i, \overline{Y}_i, [\overline{U}_1]_{i-1}) \quad (24)$$

$$[\overline{U}_2]_i = f_6(i_{i-1}, S_{i-1}, \overline{IC}_{i-1}, [\overline{U}_2]_{i-1}) \quad (25)$$

$$[\overline{U}_3]_i = f_7(S_{i-1}, \overline{IC}_{i-1}, \overline{Y}_{i-1}, [\overline{U}_3]_{i-1}) \quad (26)$$

$$[\overline{U}_4]_i = f_8(\overline{IC}_{i-1}, \overline{Y}_{i-1}, [\overline{U}_4]_{i-1}) \quad (27)$$

$$\overline{CS}_i = f_9(\overline{IC}_{i-1}, \overline{Y}_{i-1}, \overline{CS}_{i-1}), \quad (28)$$

где  $i$  – номер итерации.

Формально описав систему принятия решений по размещению изображений, можно определить физическую постановку задач оптимального размещения изображений в БД.

Анализ работы с БД изображений показал, что при размещении изображений в БД могут возникнуть следующие задачи – реализовать размещение таким образом, чтобы:

- последующее время доступа к изображениям было минимальным (29);
- совокупность связей предметов и изображения максимально охватывало его свойства (30);
- количество ошибок при размещении было минимальным (31).

$$F_1 = \sum_{i=1}^n J_1(\overline{Y}_i) \rightarrow \min_{t_a} \quad (29)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^n J_2(\overline{IC}_i, [\overline{U}_3]_i) \rightarrow \max_{ac} \quad (30)$$

$$F_3 = \sum_{i=1}^n J_3(\overline{Y}_i, \overline{IC}_i) \rightarrow \min_{mc} \quad (31)$$

В приведенной постановке задач, в зависимости от запроса пользователя и требований к системе размещения изображений, может применяться любой из вышеперечисленных функционалов.

## Выводы

В отличие от существующих аналогов, рассматриваемая в статье система в работе опирается не на технику решения конкретных задач, а на психологию поведения человека, что обеспечивает ее универсальность. Данная работа описывает процесс формирования БД изображений с учетом вопросов выбора и размещения. Рассматриваемая система позволяет автоматизировать процесс размещения, что и определяет практическую ценность данной работы.

Научная новизна работы заключается в том что, впервые были исследованы вопросы выбора изображений и формирования правил размещения; усовершенствованы способы представления информации об изображении в БД. Хранимый в БД образ изображения можно назвать человекоориентированным, что при взаимодействии человека и компьютера является преимуществом по сравнению с машинноориентированными образами в других системах.

**Список литературы:** 1. *Зимаков В.Ф., Ериков Р.Н.* Определение и обнаружение изменений структуры изображений в гетерогенных базах данных с использованием упорядоченных деревьев // Матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. «НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ». Пенза, 2000. 2. *Краснощеченко В.И., Моисеев А.В.* Индексация изображений с помощью методов фрактальной компрессии // Матер. пятого междунар. симпозиума «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ». Калуга, 2002. 3. *Лаборатория компьютерной графики при ВМК МГУ* // Информационный сервер ВМК МГУ. <http://graphics.cs.msu.su/index.ru.html>. 4. *Проект В-517.* Удаленная диагностика рака // Сетевая база данных научных проектов. <http://www.tech-db.ru/istc/db/projects.nsf/web/B-517>. 5. *Интеграция технологий работы с изображениями в международном стандарте ISO/JPEG 10918 в систему КАМИС* / Ю.М. Лошак, Е.Л. Кошечева, М.Я. Тумин, Л.Е. Кудрявцев // Матер. конфер. АДТИТ'99. [http://www.adit.ru/adit99/thesis/td605\\_r.htm](http://www.adit.ru/adit99/thesis/td605_r.htm). 6. *Krzysztof Koperski, Giovanni Marchisio, Selim Aksoy, and Carsten Tusk* / VisiMine: Interactive Mining in Image Databases // Insightful Corporation. [http://www.cs.bilkent.edu.tr/~saksoy/papers/igarss02\\_visimine.pdf](http://www.cs.bilkent.edu.tr/~saksoy/papers/igarss02_visimine.pdf). 7. *J.C. Tilton, G. Marchisio, K. Koperski, and M.Datcu* "Image Information Mining Utilizing Hierarchical Segmentation" Proc. Of IGARSS'02, Toronto, ON, June 2002. 8. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с. 9. *Железняков Валентин.* Цвет и контраст. Технология и творческий выбор // ВГИК2000. [http://www.ezhe.ru/data/vgik/zhv-cvet\\_kontrast.html](http://www.ezhe.ru/data/vgik/zhv-cvet_kontrast.html). 10. *Фурман Я.А., Юрьев А. Н., Янин В.В.* Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та. 1992. 248 с.

*Поступила в редколлегию 17.04.2004*

УДК 519.767.6

*М.В. ДИБРИВНЫЙ***КОДИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ  
УНИВЕРСАЛЬНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО КОДА****Постановка проблемы в общем виде, ее связь с научными проектами**

Одной из основных проблем создания системы обмена семантической информацией является проблема представления семантики в ЭВМ. Основными требованиями к способу представления семантической информации являются: скорость генерации текста на основе семантического кода, небольшой объем информации в семантическом виде по сравнению с текстовым и возможность обработки информации в семантическом виде. Получение семантического кода из текста и последующая генерация текста на основе семантического кода предполагают наличие специализированных интеллектуальных систем. Очевидно, что интеллектуальная система выделения семантической информации из текста намного сложнее интеллектуальной системы генерации текста. Особую сложность представляет переход от синтаксического анализа к семантическому и сам семантический анализ. Важнейшую роль в семантическом анализе играет способ представления семантической информации. Язык описания семантики влияет на сам механизм семантического анализа и поэтому вопрос определения носителя семантической информации является первичным в вопросах создания интеллектуальной системы выделения семантики.

В рамках государственной научной программы «Образный Компьютер» Министерства промышленной политики Украины, Донецким государственным институтом искусственного интеллекта был выигран тендер «Разработка научно-теоретических основ создания высокоинтеллектуальных информационных систем, использующих естественные языки для восприятия и переработки данных и знаний (информации)», № г.р. 01034001217.

В рамках этого научно-теоретического задания автор ведет исследования новых способов построения языконезависимых интерфейсов пользователя, мультязычных машинных переводчиков.

**Анализ последних достижений, выделение нерешенных ранее проблем**

В предыдущих публикациях [1-3] автор описал модель, которую можно условно назвать «текст-семантика-текст». Схожую концепцию можно найти в описаниях проекта «Интерсемантика» [4, 5]. Предложенная модель имеет сложную структуру, некоторые ее структурные части, морфологический и синтаксический анализ, поддаются формализации [7], другие, в основном семантический анализ, до сих пор полностью не формализованы. Существует множество подходов к описанию семантики, но большинство из них недостаточно формализованы, что не дает возможность обрабатывать семантику на ЭВМ. Особую роль в множестве подходов в формализации семантики играет Универсальный семантический код (УСК) [8-10], который имеет несколько усовершенствований, и в последней редакции представляет несомненный интерес для исследователей в области выделения семантической информации из текста. Однако только лишь описания семантики с помощью алгебры УСК недостаточно для проведения семантического анализа текста. Необходимы мощные механизмы извлечения семантической нагрузки из естественно-языкового текста. Именно эта проблема пока не решена на теоретическом и тем более на практическом уровне.

**Постановка задачи**

Задача выделения семантической информации из текста весьма сложная и требует предварительного анализа возможности использования той или иной технологии. Поэтому к возможности использования УСК в качестве базовой технологии следует подходить осторожно. Первым шагом должен стать анализ возможности использования УСК.

Цель статьи: показать возможность использования в системе выделения семантической информации из естественно-языкового текста алгебры УСК.

### Семантическое кодирование

Семантическое кодирование предполагает представление информации для ее хранения, обработки и передачи в семантическом виде [1]. Текст, как и речь, на естественном языке (ЕЯ) несет определенную смысловую нагрузку, которая и является первопричиной существования письменной и устной речи человека. Человеку необходимо обмениваться информацией, и для этих целей он использует звуки или символы. Звуки и символы это - носитель информации, а информацией является тот смысл, который несет в себе речь или текст. Естественные языки почти не поддаются формализации и поэтому невозможно использовать естественные языки для представления информации в электронном виде. Хранить текст или речь в электронном виде нетрудно, но эту информацию способен воспринять лишь человек, а ЭВМ сможет только хранить её и выдавать по запросу. Для ЭВМ текст или речь на ЕЯ - всего лишь набор бит. Для того, чтобы на ЭВМ можно было обрабатывать содержательную информацию, необходимо, чтобы она была строго формализована.

Модель, которую можно условно назвать «текст-семантика-текст», включает в себя две интеллектуальные системы (ИС) для каждого ЕЯ [1-3] (рис 1). Одна ИС выделяет семантическую нагрузку из текста и кодирует полученную информацию в специализированном семантическом коде. Вторая ИС выполняет противоположные действия: на основе семантического кода с соблюдением всех правил построения предложений на определенном ЕЯ генерирует текст. Для каждого ЕЯ необходимо создать словарь, в котором словарной статье соответствует семантическое описание [4-5]

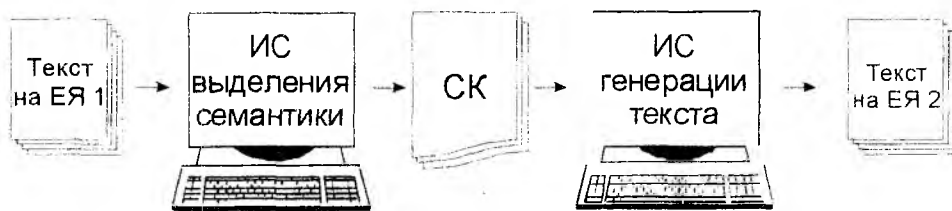


Рис. 1. Модель «текст-семантика-текст»

ИС выделения семантики строятся на основе технологии нейронных сетей [6]. Данную ИС удобно разбить на подсистемы, которым будут соответствовать подсети общей нейронной сети (рис 2). Морфологические и синтаксические сети строятся на основе семантических нейронных сетей [7] и не представляют особой сложности в реализации по сравнению с подсетью семантического уровня.

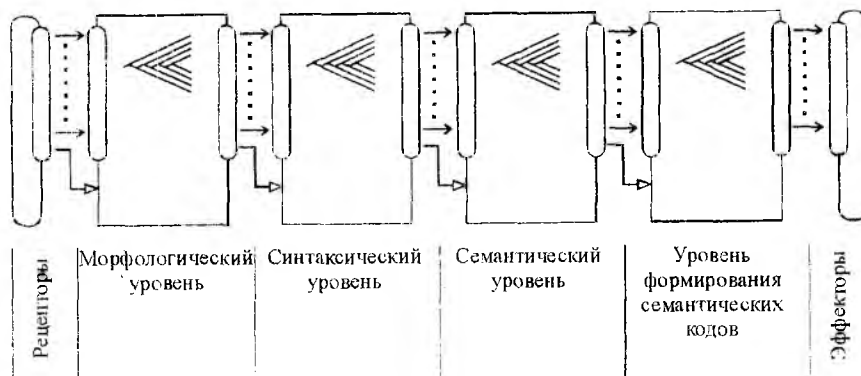


Рис. 2. Соответствие подуровней ИС подсетям нейронной сети

### Универсальный семантический код

Форма представления семантической информации должна быть достаточно формализована для возможности обработки этой информации на ЭВМ. Универсальный семантический код (УСК) имеет достаточно проработанный математический аппарат и будет наиболее удо-

бен в качестве носителя семантической информации [8-10]. УСК требует небольшой доработки и адаптации под нужды рассматриваемой модели.

УСК оперирует с тремя основными позиционными переменными:

S – субъект,

A – акция (отношение),

O – объект.

Типы отношений внутри ядерных цепочек:

1. Доминация

а) эксплицитная (явно выраженная)

- прогрессивная,
- регрессивная;

б) имплицитная (невыраженная).

2. Композиция

а) эксплицитная (явно выраженная),

б) имплицитная (невыраженная).

Цепочка SAO означает, что субъект выполняет какое-то действие (акцию) над объектом. В такой цепочке имеет место прогрессивная эксплицитная доминация субъекта над объектом. Частным случаем цепочки SAO является случай, когда субъект одновременно является объектом: субъект выполняет какое-то действие над самим собой, обозначается SAO. В SAO субъект связан с объектом (в данном случае с самим собой) регрессивной эксплицитной доминацией. В качестве примера интерпретации SAO можно привести простое предложение: «Мама мыла раму»:

для SAO – «Мама моет себя» = «Мама моется».

Цепочки типа SAO строятся на основе глубинных принципов организации ЕЯ, но для более легкого понимания можно использовать правила построения простых (SAO) и сложных ( $S_1AS_2AO$ ) предложений русского языка.

Позиции переменных строго определены. Переменные SAO должны находиться на своих местах. Исключения также не составляют три цепочки, полученные путем переноса одних позиций в другие (см. ниже), поскольку они легко конвертируются в каноническое представление цепочек.

Преобразования ядерной цепочки могут быть следующих типов:

1. Собственными средствами, то есть за счет элементов трех ее позиций:

а) перенос одних позиций в другие,

б) расширения:

- подключение новых элементов:
  - параллельное подключение,
  - последовательное подключение;
- подстановки цельнооформленных SAO в позиции элементов SAO.

2. Несобственными средствами:

а) кванторами,

б) дейксисами,

в) модификаторами:

- номинативные единицы:
  - реальные номинативные единицы,
  - фигуральные номинативные единицы;
- коммуникативные единицы;

д) модальными определителями;

е) отрицанием (негацией).

**Преобразования ядерной цепочки собственными средствами.**

Если ограничить правилами построения ядерных цепочек расширение переносом одних

позиций в другие, то останется три варианта трансформации:

$$\begin{array}{c} \downarrow \quad \uparrow \\ S_1 A O \Rightarrow \frac{O S_1 A}{1 \quad 2 \quad 3} \rightarrow [S_1 \equiv O][S_2 \equiv S][A \equiv A][\bar{O} \equiv S] \Rightarrow \frac{S_1 S_2 A \bar{O}}{1 \quad 2 \quad 3} \end{array} \quad (1)$$

«Водитель управляет автомобилем» → «Автомобиль водителем управляется»,

$$S A O \Rightarrow \frac{\uparrow \uparrow \downarrow}{S_1 A O} \quad (2)$$

«Автомобиль перевозит грузы» → «Перевозчик грузов – автомобиль»,

$$S A O \Rightarrow \frac{\downarrow \uparrow \uparrow}{S_1 A O} \quad (3)$$

«Автомобиль едет по дороге» → «Едет по дороге автомобиль».

Одна из перечисленных вариаций (1) дает новую ядерную цепочку, а две остальные (2,3) – базу для новой ядерной цепочки. Трансформация, меняя структуру цепочки, сохраняет ее семантику.

Если перефразировать трансформационные правила в терминах отношений между элементами ядерных цепочек, то окажется, что прогрессивная эксплицитная доминация исходной ядерной цепочки заменяется регрессивной эксплицитной доминацией и имплицитной при условии, что объект прогрессивной становится субъектом регрессивной или одной имплицитной; что эксплицитная композиция исходной ядерной цепочки заменяется имплицитной композицией.

Расширение подключением новых элементов может быть параллельным и последовательным. Параллельное подключение (4) - это такое умножение числа элементов одной позиции, когда подключенные элементы приравниваются к своим предшественникам, то есть все элементы позиции в результате оказываются равноправными.

$$\begin{array}{c} S_1 \\ S_2 \end{array} A O \quad (4)$$

«Отец и сын идут на рыбалку».

Последовательное подключение применимо только к субъекту или объекту. Поскольку акцию нельзя последовательно мультиплицировать, существует две возможности последовательного подключения элементов в ядерной цепочке:

$$\begin{aligned} S_1 S_2 A O &\Rightarrow (S_1 A_1 S_2 A_2 O_1)_1 \\ S A O_1 O_2 &\Rightarrow (S_1 A_1 S_2 A_2 O_1)_2 \\ (S_1 A_1 S_2 A_2 O_1)_1 &\neq (S_1 A_1 S_2 A_2 O_1)_2 \\ S_1 S_2 A O &\neq S A O_1 O_2 \\ S A O_1 O_2 &\neq S_1 S_2 A O \end{aligned} \quad (5)$$

«Отец удочкой поймал рыбу»

«Отец подал сыну рыбу».

Первый субъект ( $S_1$ ) в цепочке имплицитно доминирует по отношению к остальным переменным, если цепочка не расширена дополнительным субъектом с помощью параллель-

ного подключения.

Если заменить имплицитную доминацию на эксплицитную, то из последовательно расширенных цепочек (5) мы получим цепочки вида SASAO. SASAO имеет две эксплицитные доминации. Из этого следует, что цепочки вида SASAO в действительности состоят из двух SAO, в которых объект одной совпадает с субъектом другой:

$$\begin{matrix} S_1 A_1 O_1 \\ S_2 A_2 O_2 \end{matrix} \equiv S_1 A_1 S_2 A_2 O_2, \quad O_1 \equiv S_2 \quad (6)$$

*«Сын взял рыбу, пойманную отцом».*

Вторым типом расширения SAO собственными средствами является подстановка цельнооформленных SAO в позиции элементов SAO. Существует только один способ подстановки цельнооформленных SAO: на место последовательно подключенного элемента.

$$\begin{matrix} S_1 (SAO)_2 A_1 O_1 \\ S_1 A_1 O_1 (SAO)_2 \\ S_1 A_1 S_2 (SAO)_3 A_3 O_1 \end{matrix} \quad (7)$$

*«Сын (из рыбы, пойманной отцом) сварил уху»,*

*«Сын взял удочку, (которой отец поймал рыбу)».*

### Преобразование ядерной цепочки несобственными средствами

Кванторные ядерные цепочки могут быть двух типов: с кванторами всеобщности и с кванторами существования.

$$\forall(SAO) - \text{«Все люди пьют воду»,} \quad (8)$$

$$\exists(SAO) - \text{«Некоторые люди пьют вино».$$

Дейксистные цепочки также могут быть двух типов, но разграничение этих типов выражено постоянным и временным признаком акции. Символ *D* означает *«сейчас и здесь»*, а символ *X* - *«Всегда и везде»*.

$$\{S\} D A \bar{O} \quad (9a)$$

*«(Эти) моряки плавают (сейчас и здесь)» (плавают вместе).*

$$\{S\} X A \bar{O} \quad (9b)$$

*«(Эти) моряки плавают (всегда и везде)» (сотоварищи по плаванию).*

Модификатор (m) служит диагностирующим показателем для различения двух типов знаков. Знаки, подверженные модификации, называются номинативными единицами. Знаки, не подверженные модификации, называются коммуникативными единицами. Актуализатор (a) служит диагностирующим показателем для различения двух типов номинативных единиц. Номинативные единицы, подверженные актуализации, называются реальными номинативными единицами. Номинативные единицы, не подверженные актуализации, называются фигуральными номинативными единицами. Модификатор и актуализатор определяются соответственно кванторами и дейксистом.

$$\exists m SAO \Rightarrow D SaAO \quad (10)$$

*«Некоторые активные люди добиваются успеха →*

*Некоторые люди активно добиваются успеха».*

Существует три типа модальных цепочек:

- 1) цепочки с нулевым оператором модальности,
- 2) цепочки с модальным оператором возможности,
- 3) цепочки с модальным оператором необходимости.

Соответственно эти три типа цепочек записываются следующим образом:

$$\begin{aligned}
 &SAO: X \text{ воздействует на } Y, \\
 &S\Diamond AO: X \text{ может воздействовать на } Y, \\
 &S\Box AO: X \text{ должен воздействовать на } Y.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Третий тип цепочек сводим ко второму ( $X$  должен воздействовать на  $Y \rightarrow X$  не может не воздействовать на  $Y$ ), поэтому в самом общем виде выделяется два вида цепочек: модальные и немодальные. Второй тип цепочек из третьего получается путём использования отрицания.

Отрицание (негация) может быть применено к любой из трех позиций ядерной цепочки. Важной особенностью отрицания является его способность быть примененным к кванторам и модальным операторам.

$$\neg S \neg A \neg O \tag{12}$$

*не- $X$  не влияет на не- $Y$ ,*

$$S\bar{S} \neg X A\bar{O} \tag{13}$$

*«Дерево не всегда зелено».*

Преобразования типа «текст-УСК» и «УСК-текст» ограничены тем, что для прямого преобразования необходим канонизированный текст. Канонизация текста хотя и ограничивает форму представления информации, тем не менее не накладывает ограничений на содержательную часть. Таким образом, для перехода от ЕЯ-текста к канонизированному тексту необходим препроцессор, который будет приводить предложения к канонизированному виду, не меняя при этом смысла. По такому же принципу строится постпроцессор на выходе ИС генерации текста.

### Пример на ограниченной модели мира

Рассматриваемая модель «текст-семантика-текст» имеет несколько сфер применения. Следует отметить основные из них: языконезависимое информационное пространство на основе сетей общего пользования, мультязычные машинные переводчики, универсальный язык общения роботов. Далее рассматривается пример описания с помощью УСК ограниченной предметной области.

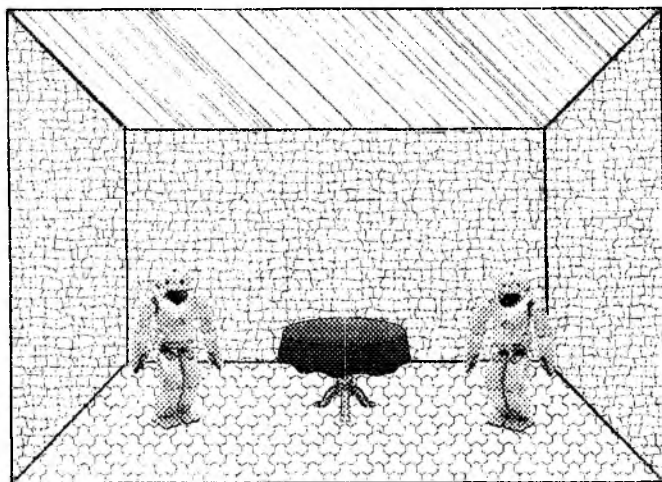


Рис. 3. Пример ограниченной предметной области

Основными объектами в описываемой предметной области являются роботы. Роботы (и другие интеллектуальные системы) отличаются от остальных неживых объектов тем, что они способны обмениваться информацией.

Ограниченная модель мира представляет собой комнату без окон и дверей, в которой находятся 2 робота и стол (рис. 3). Точкой отсчета считается точка зрения хозяина, человека, который имеет право отдавать команды роботам.

Для данной ограниченной предметной области с помощью УСК можно описать действия роботов, статическое местоположение объектов, информационные сообщения между роботами и так далее. Переход от переменных, которые содержатся в ядерных цепочках УСК к их значениям, производится с помощью таблицы семантических отношений. Для данной предметной области таблица должна содержать в полях субъектов и объектов их информационные отображения (рис. 4).

Робот							
Стол							
Стена							
Пол							
Потолок							
Хозяин							
Команда							
	Робот	Стол	Стена	Пол	Потолок	Хозяин	Команда

Рис. 4. Матрица семантических отношений для данной предметной области

По вертикали в матрице расположены информационные отображения субъектов, а по горизонтали – объектов. На пересечении пары субъекта и объекта расположен вектор семантических отношений для этой пары понятий.

Описание действий роботов.

$S_1 AO$       Робот1 и Робот2 направляются к столу.  
 $S_2$

$S_1 S_2 AO$       Робот1 столом царапает пол.

$SAO_1 O_2$       Робот1 толкает стол на Робота2.

$S_1 A_1 S_2 A_2 O_1$       Робот1 толкает стол, царапая стену.

Передача команд от робота к роботу.

$P1: P2$  - «стань справа от стола»  $SAO$ .

$P1: P2$  - «стань под стол»       $SAO$ .

$P1: P2$  - «удались от стены»       $SAO$ .

$P1: P2$ -« отодвинь стол от стены»       $SAO_1 O_2$ .

Команды хозяина группе роботов:

«Робот1 и Робот2: стоять!»       $S_1 \bar{O}$   
 $S_2 A \bar{O}$

«Робот1 и Робот2 стоять возле стола.»       $S_1 AO$   
 $S_2$

«Робот1 поднять Робота2 и поставить его на стол.»       $S_1 A_1 S_2 A_2 \bar{O}_2 O_1$

Обмен сообщениями между роботами:

$P1: P2$  «Где ты (Робот2) находишься?»       $SA\bar{O}$

P2: « Я стою возле стола.» SAO

P1: « Робот2 переместись к стене.» SAO

### Выводы

Таким образом, из описанного выше можно видеть, что УСК применим не только для группового управления роботами, но и для произвольного описания мира, опираясь на ограниченную модель мира, описанную с помощью матрицы семантических отношений. Для модели «текст-семантика-текст», УСК является наиболее подходящей алгеброй представления семантики. УСК обладает аппаратом, позволяющим описать структурными формулами любое явление, при этом, не опираясь ни на один ЕЯ.

Автор считает, что в данной работе новыми являются следующие результаты: описание с помощью алгебры УСК ограниченной модели мира, в которой участвуют роботы, описание структурными формулами УСК передачи сообщений между роботами, структурные формулы УСК для групповых команд роботам.

**Список литературы:** 1. Дибриный М.В. Языкнезависимый интерфейс // Искусственный интеллект. 2002 №1. ISSN С. 21-27. с илл. 2. Дибриный М.В. Механизм извлечения семантики текста естественного языка применительно к языкнезависимым интерфейсам и мультязычным машинным переводчикам // Искусственный интеллект. 2003. №2, с илл. 3. Дибриный М.В. Нейронная сеть как механизм преобразования смысла текста естественного языка в смысловой код // Материалы междунар. науч. конф. «Интеллектуальные и многопроцессорные системы». 2003 Т.1. Таганрог. Изд-во ТРТУ. С. 288 – 290. 4. Чипашвили Ш.Ш. Некоторые вопросы создания единого кода семантики информации (проект «Интерсемантика») // Искусственный интеллект. 2000. №3. С. 578-583. 5. Чипашвили Ш.Ш. Некоторые аспекты использования возможностей единого цифрового кода семантики информации для взаимодействия пользователей с вычислительной средой на национальных или искусственных языках (дополнительные результаты проекта «Интерсемантика») // Там же. 2002. №4. С. 307-311. 6. Васильев В.И., Шевченко А.И. Формирование и опознавание образов. Изд. второе, переработанное, дополненное. Донецк: ДонГИИИ, 2000. 360с. 7. Шуклин Д.Е. Разработка системы, обрабатывающей текст естественного языка, на основе семантической нейронной сети // Искусственный интеллект. 2002. №4. С.312-320. 8. Мартынов В.В. Семиологические основы информатики. Мн.: Наука и техника. 1974. 9. Мартынов В.В. Универсальный семантический код (Грамматика. Словарь. Тексты). Мн.: Наука и техника. 1977. 10. Мартынов В.В. Универсальный семантический код: УСК-3 / Под ред. А. Е. Михневича. Мн.: Наука и техника. 1984.

Поступила в редколлегию 05.04.2004

УДК 519. 673: 61

*Е.В. ВЫСОЦКАЯ, А.П. ПОРВАН, Б.А. САМУРА, Б.Б. САМУРА***ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ФИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Введение.** В настоящее время, несмотря на огромные достижения в области медицины по созданию многочисленных эффективных химических лекарственных препаратов, все больший интерес возрастает к препаратам растительного происхождения – растительным лекарственным средствам (РЛС) и гомеопатическим препаратам [1]. Это связано с тем, что применение данных препаратов при лечении позволяет получить наибольший и быстрый клинический эффект с минимумом побочных явлений.

**Постановка задачи.** Чтобы правильно провести курс лечения, врачу необходимо выявить нарушения в гомеостазе организма, а затем на протяжении всего периода терапии, наблюдать за восстановлением нарушенного равновесия и вовремя корректировать курс лечения. При назначении терапии учитываются биохимические характеристики РЛС (фармакологическое действие, наличие токсических компонентов и т.д.) и индивидуальные особенности организма человека (гомеопатический и психоэмоциональный статусы, наличие каких-либо аллергических реакций на назначаемые средства, возраст и т.д.). Такой набор показателей требует системного анализа информации при индивидуальном назначении терапии.

**Анализ литературы.** Для системного анализа и прогнозирования эффективности назначаемой терапии используются различные методы и математические модели [2].

Наибольшее применение при описании зависимости эффекта лечения от применяемого препарата и процесса восстановления нарушенного равновесия организма получили различные детерминированные модели.

При модельно-независимой оценке все сводится к вычислению некоторых конкретных параметров (линейная регрессия, правило трапеции и т.д.), что ограничивает представление врача о полной картине влияния РЛС на организм человека [3]. Из-за того, что организм человека представляет собой открытую систему, внутренняя структура которой (то есть детальная картина всасывания, распределения, метаболизма и экскреции) неизвестна, широкое применение получили стохастические и структурные модели.

Недостатком стохастических моделей является неконкретное указание проходящих в организме человека процессов и задание лишь вида функциональной зависимости, описывающей статистическое распределение значений времени воздействия растительного лекарственного средства на организм человека без учета характерных особенностей применяемого средства и индивидуальных характеристик организма пациента. Стохастические модели, использующие дифференциальные системы уравнений, имеют большую размерность, что приводит к большим вычислительным затратам и погрешности вычислений. Для облегчения вычислений системы дифференциальных уравнений преобразуют в системы некоторых численных алгебраических рядов. Решение этих рядов, в свою очередь, может оказаться бесконечным. А применение усечения бесконечной системы преобразованных дифференциальных уравнений является чрезвычайно сложным процессом и, в конечном счете, сводится к интегрированию этих уравнений, что может привести к потере информативности модели. Также возникают трудности при численной интерпретации результатов моделирования классическими методами (явный метод Адамса или метод Рунге – Кутты), связанные с невозможностью использования малого шага интерпретирования, а при большом шаге возникает вероятность резкого «взрыва» погрешности расчета.

Применение структурных моделей, описываемых дифференциальными и интегральными уравнениями различных процессов элиминации, метаболизма и экскреции в организме человека при проведении терапии лекарственными средствами, также имеет свои недостатки. Это и большая размерность систем дифференциальных уравнений (аналогично стохастическим

моделям) и возможная неявность параметров интегральных уравнений, что может привести к погрешности расчета параметров модели и неадекватному описанию моделируемого процесса. А при использовании более простого математического аппарата линейной и нелинейной алгебры требуется избыточный набор данных, большинство из которых также могут быть представлены в неявном виде.

Все эти недостатки можно устранить при помощи параметрических (системных) моделей. Такие модели могут использоваться для описания моделируемого процесса простой математической аппарат. Они не требуют избыточности параметров модели, а большинство параметров имеют прозрачный биологический смысл, то есть могут быть измерены непосредственно.

**Цель статьи.** Целью данной работы является создание детерминированной параметрической модели, описывающей процесс реперторизации при восстановлении нарушенного равновесия организма человека с использованием растительных лекарственных и гомеопатических средств.

**Основной материал.** Для формирования модели необходимо:

- выбрать некоторое количество переменных, задание числовых значений которых определяет одно из возможных состояний исследуемого процесса;
- выбрать взаимосвязи, характерные для этого процесса в виде математических соотношений (равенств и неравенств). Эти соотношения будут определять ограничения данной задачи;
- определить количественное выражение выбранного критерия оптимальности в виде целевой функции;
- сформулировать задачу отыскания экстремума целевой функции при условии выполнения всех ограничений.

Структурная схема обобщенной модели представлена на рис. 1.

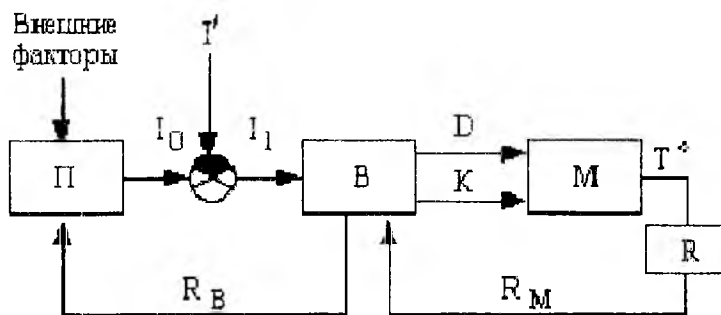


Рис. 1. Структурная схема модели

$\Pi$  – пациент;  $B$  – врач;  $M$  – математическая модель процесса реперторизации при восстановлении нарушенного равновесия организма человека;  $I'$  – идеальное состояние организма пациента;  $I_0$  – исходное состояние организма пациента;  $I_1 = I_0 - I'$  – отличие реального состояния от идеального;  $D$  – набор диагнозов, поступающих на вход модели;  $K$  – коррекция параметров модели врачом;  $T^*$  – оптимальный набор трав, формирующий конечный рецепт;  $R$  – блок формирования рецептов;  $R_M$  – рецепты, поступающие от ЭВМ врачу (модельные рецепты);  $R_B$  – рецепты, назначенные в качестве терапии (рецепты, скорректированные врачом).

Пусть имеется некоторое конечное множество растительных лекарственных средств (трав), которые составляют универсум –  $T_U$ . Допустим, пациенту в результате обследования организма был поставлен ряд диагнозов  $D$  из общего универсума  $D_U$ ,  $D = \{d_i\}$ ,  $i \in I, I = \overline{1, m}$ , где  $I$  – множество индексов диагнозов из  $D_U$ ,  $m = M[D]$  – мощность индексов. При лечении  $i$ -го заболевания показано применение некоторого множества трав  $T_i = \{t_{ij}\}$ ,  $j \in J, J = \overline{1, n_i}$ , где  $J$

– множество индексов из  $T_U$ ,  $n_i = M[L]$  – мощность индексов трав, применяемых при лечении  $i$ -го заболевания. Таким образом, можно записать рабочее множество трав (показания), как:

$$T_X = \bigcup_{i=1}^m T_i. \quad (1)$$

При назначении лечения необходимо также учитывать возрастную категорию пациента, его гомеопатический статус и наличие или отсутствие аллергических реакций на применяемые в качестве лечения травы. Для этого запишем расширенный базис диагнозов с указанными выше поправками:

$$D' = \{D, G, V, A\} = \{d_i'\}, i = \overline{1, m+3}, \quad (2)$$

где  $G$  – гомеопатический статус организма пациента, который может принимать значения «0» (гомеопатический статус пациента в норме или имеет нарушение 1-ой степени), «1» (гомеопатический статус пациента имеет нарушение 2-ой степени);

$V$  – 1-я возрастная категория пациента, принимающая значения «0» (возраст пациента от 3-х до 60-ти лет), «1» (пациент попадает под 2-ю возрастную категорию до 3-х и после 60-ти лет);

$A$  – аллергия на определенные РЛС, может иметь значение «0» – при отсутствии аллергии, «1» – при аллергии на то или иное РЛС.

Известно, что каждая трава имеет противопоказания к применению для какого-либо набора диагнозов  $DP_i = \{d_k\}$ ,  $k = \overline{1, r_i}$ , где  $r_i$  – общее количество диагнозов – противопоказаний для  $i$ -ой травы. Исходя из этого, можно записать множество трав, противопоказанных какому-либо одному диагнозу из  $D'$  как  $P_i = t_k$ ,  $k \in K$ ,  $K = \overline{1, S_i}$  – множество индексов противопоказанных РЛС при  $i$ -ом заболевании,  $S_i = M[K]$  – мощность индексов противопоказанных РЛС,  $i = \overline{1, m+3}$  – индексы заболеваний и трех индивидуальных характеристик человека, при которых противопоказаны назначаемые РЛС.

Проанализировав все выше описанное, можно сказать, что множество растительных лекарственных средств, выбранных для лечения заболеваний пациента с учетом противопоказаний, будет следующим:

$$\Omega = T_X \setminus \bigcup_{i=1}^{m+3} P_i. \quad (3)$$

Мощность множества допустимых трав определим как  $M_T = |\Omega|$ .

Определим несовместимость растительных лекарственных средств как  $T_N = \{(t_i, t_j)\}$ ,  $i, j \in \Omega$ ,  $(t_i, t_j)$  – пары несовместимых трав.

Поставим в соответствие каждой траве  $t_i \in \Omega$  некоторую булеву переменную  $b_i$ , где «0» и «1» показывают отсутствие или присутствие травы в результирующем рецепте соответственно.

Каждое растительное средство обладает своим множеством физиологических действий, оказываемых на организм человека. Данное множество опишется как:

$$De_i = \begin{cases} \{de_{ij}\}, j = \overline{1, l_i}, b_i = 1 \\ \{\emptyset\}, b_i = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $De_i$  – множество всех физиологических действий  $i$ -ой травы;

$de_{ij}$  – действие  $i$ -ой травы,  $t_i \in \Omega$ ,

$l_i$  – общее количество физиологических действий  $i$ -ой травы.

Мощность множества физиологических действий всех растительных средств, назначаемых в качестве терапии пациенту, определится, как:

$$M_{De} = \left\| \bigcup_{i=1}^{M_T} De_i \right\|, \quad b_i = 1. \quad (5)$$

Каждая трава характеризуется также своим коэффициентом эффективности применения РЛС –  $K_{De}$ . Коэффициенты  $K_{De}$  могут быть получены на основании экспертных оценок ведущих фармакологов:

$$K_{De} = \{k_{ij}\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, M_T}. \quad (6)$$

Определим целевую функцию нашей модели:

$$F(B) = \sum_{i=1}^{M_T} \text{Re}(b_i) \rightarrow \min_{t_i \in \Omega}, \quad (7)$$

где под функцией  $\text{Re}(\cdot)$  понимается перевод булевых значений False и True в натуральные числа 0 и 1 соответственно.

На целевую функцию будут накладываться следующие ограничения:

- ограничение типа равенства по физиологическому действию РЛС:

$$\left\| \bigcup_{i=1}^{M_T} De_i \right\| = M_{De}, \quad (8)$$

- ограничения по несовместимости РЛС между собой:

$$\sum_{i,j} \text{Re}(\overline{b_i \wedge b_j}) = 0, \quad i, j \leftarrow (t_i, t_j) \in T_N. \quad (9)$$

Проанализировав все выше описанное, можно предложить параметрическую модель процесса реперторизации при восстановлении нарушенного равновесия организма в следующем виде:

$$P(T) = F[D, G, V, A, K_{De}]$$

$$F(B) = \sum_{i=1}^{M_T} \text{Re}(b_i) \rightarrow \min_{t_i \in \Omega} \quad (10)$$

$$\left\| \bigcup_{i=1}^{M_T} De_i \right\| = M_{De}, \quad \sum_{i,j} \text{Re}(\overline{b_i \wedge b_j}) = 0, \quad i, j \leftarrow (t_i, t_j) \in T_N.$$

Проиллюстрируем все вышеописанное на следующем примере.

Пусть врач работает со следующим перечнем РЛС, составляющих универсум  $T_U$ :  $t_1$  – акация белая,  $t_2$  – чистотел большой,  $t_3$  – шалфей лекарственный,  $t_4$  – паслен черный,  $t_5$  – алое древовидное,  $t_6$  – айва обыкновенная,  $t_7$  – красавка белладонна,  $t_8$  – ромашка аптечная,  $t_9$  – зверобой продырявленный,  $t_{10}$  – эвкалипт пепельный,  $t_{11}$  – тысячелистник,  $t_{12}$  – подорожник большой,  $t_{13}$  – солодка голая,  $t_{14}$  – белена черная,  $t_{15}$  – шиповник коричный,  $t_{16}$  – астрагал солодколистный,  $t_{17}$  – амми зубная,  $t_{18}$  – вероника лекарственная,  $t_{19}$  – каштан конский,  $t_{20}$  – алтей лекарственный,  $t_{21}$  – клевер полевой,  $t_{22}$  – мать и мачеха,  $t_{23}$  – крестовник ромболистный,  $t_{24}$  – ясменник душистый,  $t_{25}$  – дрок красильный.

Допустим, пациенту в результате обследования был поставлен ряд диагнозов:  $d_{27}$  – язва желудка,  $d_{65}$  – цистопиелит. Из истории болезни пациента также стало известно, что он страдает бронхиальной астмой –  $d_{18}$  и катарактой –  $d_{94}$ . Эти диагнозы входят в общий уни-

версум  $D_U$  – классификацию болезней, принятой ВОЗ [4].  $D = \{d_{18}, d_{27}, d_{65}, d_{94}\}$ . Индексы заболеваний  $i \in \{18, 27, 65, 94\}$ , а мощность индексов  $m = 4$ . Каждому из перечисленных заболеваний соответствует свой набор трав  $T_i$ , применяемых для лечения данных заболеваний:

$T_1 = \{t_1, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{13}, t_{14}\}$ ,  $j \in \{1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14\}$ , мощность индексов заболеваний составит  $n_1 = 9$ ;  $T_2 = \{t_{15}, t_{24}, t_{25}\}$ ,  $j \in \{15, 24, 25\}$ , мощность индексов заболеваний составит  $n_2 = 3$ ;  $T_3 = \{t_5, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{21}, t_{22}, t_{23}\}$ ,  $j \in \{5, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23\}$ , мощность индексов  $n_3 = 9$ ;  $T_4 = \{t_5, t_{15}, t_{16}\}$ ,  $j \in \{5, 15, 16\}$ , мощность индексов заболеваний  $n_4 = 3$ .

Рабочее множество трав запишется следующим образом:

$$T_X = \{t_1, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{21}, t_{22}, t_{23}, t_{24}, t_{25}\}.$$

Пациент имеет нарушение гомеопатического статуса 2-ой степени, его возраст попадает в 1-ю возрастную категорию, аллергические реакции на РЛС не были выявлены. Запишем расширенный базис  $D'$  с учетом этих индивидуальных показателей:

$$D' = \{d_{18}, d_{27}, d_{65}, d_{94}, G\}.$$

Так как алоэ обладает раздражающим и мочегонным действием, это РЛС нельзя применять для терапии ввиду противопоказания. Следовательно, ограничение по противопоказанию запишется следующим образом  $d_{65} \in DP_4$ ,  $P_1 = \emptyset$ ,  $P_2 = \{t_4\}$ ,  $P_3 = \emptyset$ ,  $P_4 = \emptyset$ . В связи с тем, что гомеопатический статус пациента имеет нарушение 2-ой степени, ему противопоказаны РЛС, содержащие токсические вещества. Следовательно, противопоказания для гомеопатического статуса будут следующими  $P_5 = \{t_1, t_4, t_7, t_{14}, t_{17}, t_{23}\}$ .

Множество всех РЛС, выбранных для лечения пациента, с учетом противопоказаний будет следующим:

$$\Omega = \{t_5, t_6, t_8, t_9, t_{13}, t_{15}, t_{16}, t_{18}, t_{21}, t_{22}, t_{24}, t_{25}\},$$

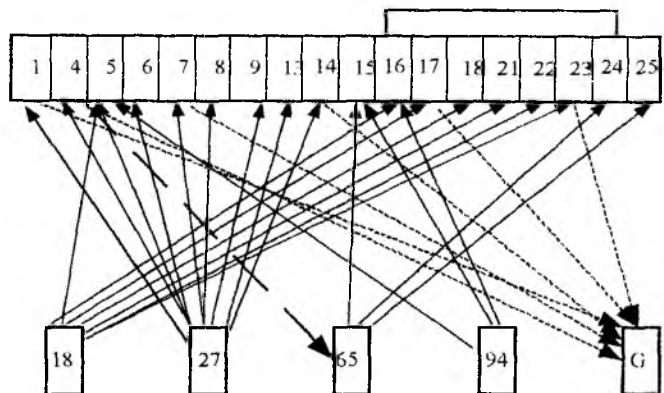
а мощность составит  $M_T = 12$  РЛС.

Определим несовместимость РЛС между собой  $T^n = \{(t_{16}, t_{24})\}$ .

Отношение «Заболевание – РЛС» представим в виде смешанного графа, представленного на рис.2. Вершинами графа являются заболевания (симптомы) и РЛС (травы). Направленными хордами обозначены показания к применению того или иного РЛС, противопоказания по применению того или иного РЛС, ненаправленными хордами – несовместимость РЛС между собой.

Рис. 2. Смешанный граф отношения «Заболевания – РЛС»

где  $\longrightarrow$  – показание к применению РЛС;  
 $\dashrightarrow$  – противопоказание к применению РЛС при нарушенном гомеопатическом статусе;  
 $\dashrightarrow$  – противопоказание к применению РЛС;  
 $\text{---}$  – несовместимость РЛС между собой.



Множество физиологических действий всех РЛС, выбранных для лечения, представлен в табл.1, где «1» – присутствие данного физиологического действие в РЛС, «0» – его отсутствие в РЛС соответственно.

Таблица 1

Основное физиологическое действие РЛС	Растительные лекарственные средства (РЛС)											
	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>13</sub>	t <sub>15</sub>	t <sub>16</sub>	t <sub>18</sub>	t <sub>21</sub>	t <sub>22</sub>	t <sub>24</sub>	t <sub>25</sub>
de <sub>1</sub> - диуретическое	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
de <sub>2</sub> - смягчительное	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
de <sub>3</sub> - отхаркивающее	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
de <sub>4</sub> - гипотензивное	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
de <sub>5</sub> - спазмолитическое	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>6</sub> - утеротоническое	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
de <sub>7</sub> - седативное	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
de <sub>8</sub> - успокаивающее	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
de <sub>9</sub> - регенерирующее	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
de <sub>10</sub> - кровоостанавливающее	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>11</sub> - обволакивающее	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>12</sub> - антиастматическое	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
de <sub>13</sub> - антиаллергическое	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>14</sub> - противоязвенное	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>15</sub> - противоранное	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>16</sub> - противовоспалительное	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
de <sub>17</sub> - анальгетическое	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
de <sub>18</sub> - бронхолитическое	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
de <sub>19</sub> - биостимулирующее	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de <sub>20</sub> - возбуждающее аппетит	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
de <sub>21</sub> - противокашлевое	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
de <sub>22</sub> - антисептическое	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Мощность множества физиологических действий всех растительных средств, назначаемых в качестве терапии, будет равно  $M_{De} = 22$ .

Каждое РЛС имеет свой приоритет при лечении той или иной патологии, отражающийся в коэффициенте эффективности применения РЛС. Значения этих коэффициентов относительно лечимых заболеваний приведены в табл.2. Коэффициенты эффективности применения РЛС были получены на основании экспертных оценок фармакологов.

Таблица 2

Заболевания	Растительные лекарственные средства (РЛС)											
	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>13</sub>	t <sub>15</sub>	t <sub>16</sub>	t <sub>18</sub>	t <sub>21</sub>	t <sub>22</sub>	t <sub>24</sub>	t <sub>25</sub>
d <sub>18</sub> – астма бронхиальная	0,5	–	–	–	–	–	0,3	1	1	0,8	–	–
d <sub>27</sub> – язва желудка	0,5	0,5	1	1	0,8	–	–	–	–	–	–	–
d <sub>65</sub> – цистопиелит	–	–	–	–	–	0,8	–	0,5	–	–	1	1
d <sub>94</sub> – катаракта	1	–	–	–	–	0,5	0,5	–	–	–	–	–

Присвоим булевым переменным  $b_i$  значение «1», тогда  $F(B) = 12$ . При этом ограничение (8) выполняется, а ограничение (9) – нет. Это связано с тем, что в результирующем рецепте присутствуют РЛС несовместимые между собой. Данный набор РЛС нельзя применять для лечения пациента.

Допустим вектор  $b_i$  примет следующие значения  $\bar{b}_i = \{1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1\}$ , то есть в результирующем рецепте будут присутствовать 5, 6, 9, 18, 21, 24, 25 травы. При этом  $F(B) = 7$  и выполняется условие (9), но условие (8) – не выполняется, так как не перекрываются физиологические действия, необходимые для лечения:  $De = \{5, 6, 7, 8, 12, 14\}$ . Данный набор РЛС также нельзя применять для лечения пациента, так как эффект лечения не будет полным.

Присвоим новые значения вектору  $b_i$  с учетом коэффициентов эффективности применения РЛС:  $\bar{b}_i = \{0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1\}$ . При таком наборе РЛС выполняются оба ограничения. Это в свою очередь говорит о том, что полученный набор РЛС можно использовать для комплексной терапии пациента. Конечный направленный граф оптимизированного рецептурного пространства представлен на рис.3.

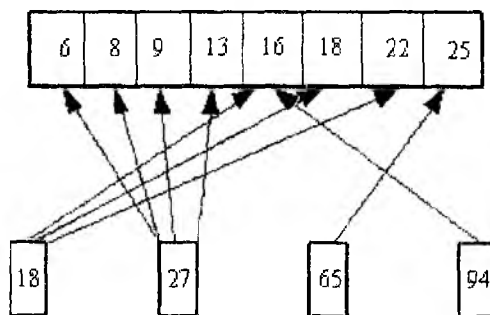


Рис.3. Смешанный граф конечного оптимального рецептурного пространства

**Выводы.** Авторами были рассмотрены и проанализированы модельные и модельно-независимые способы описания процесса реперторизации и предложена однокритериальная детерминированная динамическая модель процесса реперторизации при восстановлении нарушенного равновесия организма человека с использованием растительных лекарственных средств. Приведена обобщенная структурная схема модели. Критерием модели является конечное количество лекарственных растительных средств, которое должно быть минимальным. Ограничениями модели являются ограничение типа равенства по физиологическому действию растительных лекарственных средств и ограничение по несовместимости растительных лекарственных средств между собой. Моделирование позволяет сформировать задачу оптимизации рецептурного пространства и систематизировано подойти к процессу назначения качественного индивидуализированного лечения человека. Рассмотренный пример показывает адекватность применения данной модели к процессу реперторизации и оптимизации рецептурного пространства. Результат моделирования представлен в виде направленного графа.

**Список литературы:** 1. В. Петков, А. Малеев. Современная фитотерапия. София: Медицина и физкультура, 1988. 504 с. 2. В.М. Глушков и др. Методы идентификации математических моделей биологических систем. Киев: Высшая школа, 1992. 191 с. 3. В. К. Пиотровский. Модельные и модельно-независимые методы описания фармакокинетики: преимущества, недостатки и взаимосвязь // Антибиотики и медицинская биотехнология. 1987. № 7, Т. 32, С. 492 – 497. 4. Классификация болезней, принятая Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) / Под. ред. Р.В. Понаморева. М.: Медицина, 1992.

УДК 004.8

В.И. КАУК, А.С. КОРЯК

## УНИФИЦИРОВАННЫЙ ЯЗЫК МОДЕЛИРОВАНИЯ UML ДЛЯ SEMANTIC WEB

### Введение

Огромное количество информации, доступной через World Wide Web, приводит к мысли о более рациональных и эффективных путях ее использования. Постоянно растущее число распределенных ресурсов затрудняет поиски необходимых данных. Эффективность поисковых машин и других WEB-инструментов по автономной обработке информации может быть улучшена внесением семантики в контекст Web-ресурсов. Это требует использования многочисленных концептуальных моделей для различных доменов, более известных как онтологии.

Эволюция создания языков представления онтологий прошла долгий путь от простого разметочного языка типа Extensible Markup Language (XML) до семантически богатых языков представления данных с интеллектуальной поддержкой Semantic Web-языков – DAML-OIL (DARPA Agent Markup Language и Ontology Inference Layer) и OWL (Web Ontology Language). Последние имеют способы выражения, подходящие для построения онтологий любого уровня сложности и размера. Тем не менее, они были разработаны относительно небольшим AI (artificial intelligence) сообществом и предназначены для моделирования парадигм в рамках этого общества. Работа должна быть доступна в таком виде, чтобы люди из разных сообществ могли эффективно работать с этими языками. DAML-OIL и OWL – довольно новые языки, которым присущи недостатки в сопроводительных инструментах, что особенно выражается в отсутствии графической оболочки (редактора) для представления онтологий. Такие графические оболочки во многом облегчают разработку и восприятие онтологий для неопытных пользователей. С другой стороны, существует Unified Modeling Language (UML) – язык, который используется как основной инструмент графического моделирования и представления для самых разнообразных областей знаний (моделирование баз данных, программных приложений, бизнес-приложений и т.д.). В работе К. Баклавского [1] было предложено использовать UML как средство графического представления онтологий, потому что между языками представления онтологий и UML-нотацией довольно много подобных аспектов и понятий позаимствовано друг у друга. Но, несмотря на это, существует ряд существенных различий.

В статье рассмотрены различные идеи использования UML совместно с языками представления онтологий для WEB-ресурсов, приведены их общие характеристики и различия между ними, которые становятся препятствиями при отображении одних языков при помощи других. Главная цель этой работы – показать, насколько нотации совместимы, и для чего можно использовать совместную работу этих двух типов языков.

### Унифицированный язык моделирования UML

UML определяет стандартный (индустриальный) язык и графическую систему обозначений для создания бизнес-моделей и технологических систем. Вопреки широко распространенному мнению UML является инструментом не только для программистов. UML определяет типы моделей, которые покрывают промежуток от функциональных требований и бизнес-моделей до проектирования структур классов и диаграмм компонентов. Такие модели и использующий их процесс разработки улучшают и упрощают коммуникацию между многими различными группами (сообществами) исполнителей. Именно “индустриальный стандарт” и понимание моделей различными обществами делает UML-нотацию наиболее привлекательной в попытке использования UML-моделей для представления знаний и последующего перевода таких моделей непосредственно в языки представления знаний.

Для того, чтобы охватить все разнообразие аспектов комплексной системы программного обеспечения, UML содержит не менее двенадцати разнообразных типов диаграмм (в соответствии с Object Management Group – OMG), каждая из которых разработана для описания системы со специфических точек зрения. Четыре из них описывают статические структуры приложения (системы), пять диаграмм служат для описания функционального поведения и еще три применяются для очертания путей организации и управления модулями приложения.

Для описания знаний в UML-моделях могут быть использованы только статические диаграммы и диаграммы управления моделями. Именно диаграмма классов (class diagram) принадлежит к первому типу диаграмм и является центром нашего внимания, потому что может определять прямую зависимость между объектами диаграммы и частями онтологии (классы, иерархия, атрибуты, аксиомы и взаимоотношения).

Для языка UML можно применять XML Metadata Interchange Format (XMI), который специфицирует открытую модель обмена информацией и является стандартом передачи информационных данных через Интернет между разработчиками программ. XMI объединяет в себе язык расширенной разметки Extensible Markup Language (XML) с репозиторием мета-объектов Meta Object Facility (MOF) и универсальным языком моделирования Unified Modeling Language (UML), предложенными OMG, поэтому метаданные можно описывать в UML, сохранять в MOF, а различные инструментальные средства и хранилища будут обмениваться ими посредством XML. К сожалению, в настоящее время нет полной договоренности по поводу индустриального стандарта, что привело к различным форматам от каждого крупного производителя.

XMI является форматом, основанным на XML и предназначенным для обмена информацией между UML-приложениями и другими инструментами. XMI позволяет сохранять UML-модели и семантику в XML-подобном формате, что удовлетворяет нашим требованиям, потому что Semantic Web-языки тоже основываются на XML-формате, и существует несколько методов перевода из одного вида XML в другой.

### **Языки представления знаний для Интернет-ресурсов**

Онтологии позволяют представить новые понятия так, что они становятся пригодными для машинной обработки. С помощью онтологии можно "перебросить мостик" между новыми понятиями, с которыми система еще не встречалась, и описаниями уже известных классов, отношений, свойств и объектов реального мира. Исследователи, работающие в данной области, неоднократно предпринимали попытки формализации онтологий, многие из которых завершились созданием специализированных языков. Например, Ontology Inference Layer (OIL) и DARPA Agent Markup Language (DAML), которые были выбраны специалистами World Wide Web consortium (W3C) в качестве базы для построения нового языка онтологий, получившего название Web Ontology Language (OWL) и предназначенного для использования в Semantic Web.

Основной целью языков представления знаний является предоставление стандартного языка представления онтологий в Интернет-пространстве. Такой стандартный язык должен поддерживать разработку онтологий для World Wide Web-пространства с инфраструктурой в виде следующих средств: редакторов, хранилищ, средств логических выводов, проверки правильности структур, инструментов аннотации метаданных.

С целью приведения к соответствию с общей архитектурой WEB-пространства, OWL принимает набор принципов, включая синтаксис, основанный на XML, и обратную совместимость с Resource Description Framework schema (RDF/s)-технологией, которая является действующим W3C-стандартом для концептуального моделирования. Этот язык был разработан для использования в основном системами, чем пользователями. Главный принцип OWL – обеспечение хорошо обоснованной логической семантики. Помимо этого, разработ-

чики OWL использовали принцип «минимальности»: вместо того, чтобы включить все возможные детали моделирования, язык OWL ограничивает число деталей до набора характеристик, позволяющих выполнять логические обоснования.

OWL-языки имеют хорошо продуманную семантику в виде описательной логики [2], которая устанавливается при помощи интерпретационного отображения в абстрактном домене

При сравнении двух языков (UML и OWL) можно сделать два заключения. С одной стороны, оба языка дополняют друг друга. UML создан для создания моделей экспертом-человеком, а OWL разработан для использования во время выполнения программ и предоставления руководства для методов интеллектуальной обработки. Эти дополнительные характеристики оправдывают идею совмещения языков. С другой стороны, перевод из одного языка в другой – не совсем тривиальная задача из-за отличий между языками. Первая задача состоит в определении соответствующих элементов в этих языках, которые могут вызывать трудности, а вторая – убедиться, что в процессе трансляции не будет потеряна семантика языков

### **UML и Semantic Web**

Эти нотации совместно могут быть использованы в двух направлениях: извлечение онтологий из существующих UML-диаграмм и использование UML как (графического) инструмента для языков представления знаний.

Первое направление показывает, как UML-концепции могут быть выражены в разрезе языков представления знаний с сохранением семантик UML-моделей, насколько это возможно. Эта проблема актуальна, так как UML-нотация используется для моделирования систем от уровня информационной системы предприятия до распределенных WEB-систем, и большое количество пользователей нуждается в механизме совместного и повторного использования этих знаний. OWL позволяет представлять знания в WEB-пространстве для совместного использования. С другой стороны, существует огромное количество UML-моделей, готовых к размещению в WEB-пространстве.

Второе направление подразумевает использование UML-нотации как синтаксиса моделирования для языков представления знаний, потому что последние не имеют своей стандартной графической формы представления онтологий, в то время как UML является стандартной графической нотацией для системостроения.

Оба направления имеют разные основы. Если первое направление должно отображать все UML-объекты из статических диаграмм, то второе – отображать все элементы языков представления знаний в UML-нотации. Это означает, что таблицы отображений для этих направлений могут не совпадать в точности, но многие пары сочетаний будут схожими.

Далее будут рассмотрены пары, которые близки по смыслу в обоих языках и не вызывают трудностей при трансляции, а также проанализированы элементы, которые делают процесс трансляции нетривиальным.

### **Общие части в нотациях UML и OWL**

Для целей совместного использования нотаций не все UML-диаграммы могут быть вовлечены в данный процесс. В то время как в UML существуют диаграммы для описания процессов и статических данных, OWL оперирует понятиями и знаниями, которые могут быть представлены только статическими данными. Поэтому в UML-нотации могут быть использованы структурные диаграммы и диаграммы управления моделями, которые довольно близки к понятиям онтологии, при этом диаграммы поведения не подходят для представления знаний. Диаграммы классов (Class diagram) и диаграммы объектов (Object diagram) включают в себя все нужные UML-объекты для отображения большинства элементов из языка представления данных. Обе нотации (UML и OWL) содержат схожие элементы – классы, атрибуты, subclasses и объекты, которые представлены в таблице.

Таблица

DAML-OIL/OWL-концепция	UML-концепция
Онтология	Пакет
Класс	Класс
Иерархия	Обобщение между классами
Свойства	Атрибуты, ассоциации, ассоциативные классы, классы
Тип данных	Типы данных
Экземпляр	Объекты

Как в любом языке описания данных, в языках представления знаний существует возможность выражать схемы, которые определяют структуру и ограничения данных (индивидов), согласованных со схемой. Такие схемы в языках представления знаний называются *онтологиями*. В UML-концепциях *пакеты* соответствуют предназначению *онтологии*. OWL, как и UML, поддерживают составные схемы, импортирование схем и наследование схем.

OWL-нотация содержит в себе *класс-элемент* и поддерживает иерархию между классами, как и UML-нотации содержат близкие по смыслу к OWL-элементам – *класс-объект* и *обобщение-объект*, который выражает иерархию между объектами в UML-нотации.

Такие UML-объекты, как *атрибуты*, *ассоциации* и *роли*, могут представлять DAML-*свойство* как элемент в UML-нотации. Классификатор в UML-нотации может иметь *атрибуты*, каждый из которых включает необязательные параметры – *имя*, *мощность* и *тип данных*. Такие атрибуты могут выражать *примитивные свойства* в OWL нотации. Имя атрибута становится именем элемента, классификатор атрибута – доменом свойства (*rdfs:domain*), а тип атрибута представлен элементом *rdfs:range*, как это показано на следующем примере.

Man
age : byte

**DATATYPEPROPERTY RDF:ID = "AGE"**

*rdfs:range rdfs:resource = "xsd:byte"*

*rdfs:domain rdfs:resource = "#Man"*

UML-*ассоциация* является специализацией отношений, которая определяет семантику между классификаторами и состоит из двух частей: сама ассоциация и набор конечных пунктов (направлений), которые называются *ролями*. Роли определяют соединения ассоциации и имени ассоциированного классификатора. Оба имени – имя ассоциации и имя роли – являются необязательными параметрами. Бинарные ассоциации могут быть оттранслированы в *объектные свойства*. Имя ассоциации выражает локальное имя свойства, направление ассоциации (роль), используется для обозначения домена свойства (*rdfs:domain*) и объекта свойства (*rdfs:range*). Безымянные ассоциации и роли потенциально подразумевают наличие анонимного свойства.

OWL-нотация использует XML Schema и типы, определенные пользователем. UML-нотация предлагает ограниченный набор предопределенных простых типов данных, которые транслируются в соответствующие XML Schema типы.

Обе нотации языков, UML и OWL, имеют много общих понятий и концепций, но некоторые из них не совсем совпадают по смыслу, что приводит к ошибкам во время перевода из одной нотации в другую.

### Несовместимость между UML и OWL-нотациями

Несмотря на схожие концепции между обеими нотациями, существуют некоторые кардинальные различия:

- *Ассоциации* и *Ассоциированные классы* в UML-нотации достаточно ограничены для представления OWL-*свойств* и могут быть определены не более чем между двумя классами. Например, класс *P* – это ассоциативный класс между двумя классами *A* и *B*, и по специфика-

ции UML  $P$  является только ассоциацией между  $A$  и  $B$  классами и не может быть снова использована между классами  $C$  и  $B$ .

- Отношения между UML-объектами, которые транслируются в OWL-свойства, комплексные. Иерархия между OWL-свойствами, полученными из UML-модели, определяется двумя факторами. Во-первых, явная иерархия из UML ассоциативных классов, во-вторых, неявная иерархия, основанная на UML-ассоциациях и ролях. Отношения между ассоциациями и ролями, которые соединяются в OWL, в UML являются более ограниченным сочетанием. Другими словами, одна бинарная UML-ассоциация будет переведена, как минимум, в три OWL-объектных свойства. Когда идет трансляция из OWL в UML, предпочтительней использовать UML-роли для выражения *объектных свойств*, если только они – часть другого свойства. В этом случае owl-элемент содержащий *объектное свойство*, будет ассоциацией, а содержащийся в *объектном свойстве* – ролью.

- В UML-нотации класс-объект является собственником ассоциаций и атрибутов. В OWL-нотации концепция “права собственности” у свойства не существует. Собственник свойства может быть неявно указан при помощи следующих методов:

- Атрибуты *Domains* и *Ranges* предполагают наличие собственника по указанному элементу в *Domain* атрибуте.
- *Restriction* элемент, используя *onProperty/toClass* - атрибуты, подразумевает собственником класс, в котором находится *Restriction* - элемент.

- В рамках пространства имен UML-объектов может быть получен конфликт при переводе в OWL. UML-атрибуты и роли должны иметь уникальные имена в пределах пространства имен, определенного собственником. В OWL-нотации имена элементов тоже должны быть уникальными в пределах онтологии. Конфликт может возникнуть, когда в нескольких UML-классах содержатся UML-атрибуты с одинаковыми именами и при трансляции получатся элементы с одинаковыми именами, что запрещено в OWL-нотации.

- UML-объекты могут иметь множественные пределы видимости (доступа), а OWL – только один. UML-нотации включают три принципиальные области видимости: *Public*, *Protected* и *Private*. В OWL-нотации нет спецификаций на области видимости, и все элементы приравниваются к *Public*-доступу. Следовательно, UML-объекты с более ограниченной областью видимости либо не будут экспортированы в OWL, либо будут обработаны как *public*-объекты.

- Существенные различия между UML и OWL заключаются в количестве метауровней, которые могут присутствовать в отдельной модели. Онтология может содержать комплексную метауровневую структуру, в то время как количество метауровней в UML ограничено. Каждый случай *type-of* отношения изменяет количество метауровней. В OWL, которая основана на RDFS, любое количество метауровней может существовать одновременно. OWL-элементы могут принадлежать разным типам и сами выступать в виде типа для других элементов. Конечный граф типов довольно сложен, и каждая дуга типов представляет переход на метауровни.

## Заключение

Недостаток графической оболочки для новых языков отображения знаний привел к поиску наиболее подходящего средства графического стандарта – UML-нотации. Между этими нотациями языков (графического и языков представления знаний) существует много общего в элементах языков и семантиках, чтобы UML стал графической средой разработки для онтологий. Еще одним из достоинств UML-нотации является то, что это индустриальный стандарт для многих областей, знакомый многим пользователям.

“Сотрудничество” между языками благоприятно для нескольких групп пользователей и разработчиков. В первую очередь, графическая оболочка будет полезна как разработчикам онтологий, так и обычным пользователям, которые изъявляют желание изучить ту или

иную онтологию, но рассмотрение огромного XML-кода не входит в их планы. Во-вторых, предложенные средства могут использоваться как инструмент для трансляции существующих моделей в языки представления знаний. Существует большое количество моделей, созданных в UML-нотации для различных доменов и областей знаний, многие из которых могут быть расположены в WEB-пространстве.

Несмотря на большое сходство между нотациями, существуют различия, которые стали препятствиями для совместного использования рассмотренных нотаций. Основные типы различий – это разные подходы к метауровням, свойствам и пространствам имен. Преодоления указанных проблем является нетривиальной задачей, требующей отдельного рассмотрения.

**Список литературы:** 1. *K. Baclawski, M. Kokar, P. Kogut, L. Hart, J. Smith, W. Holmes, J. Letkowski, and M. Aronson. Extending UML to Support Ontology Engineering for the Semantic Web. In Fourth International Conference on UML, Toronto, October 1-5 2001.* 2. *F. van Harmelen, P. F. Patel-Schneider, and I. Horrocks. Reference description of the DAML+OIL (March 2001) ontology markup language. <http://www.daml.org/2001/03/reference.html>*

*Поступила в редколлегию 26.09.2003*

УДК 519.7:007.52

Е.А. ВИНОКУРОВА, Н.С. ЛАМОНОВА, И.П. ПЛИСС

**ГЕНЕРАТОР АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЭЙВЛЕТОВ****Введение**

В настоящее время в задачах обработки информации вэйвлеты стали популярным математическим инструментом во многих исследованиях. Их используют в тех случаях, когда результат анализа сигнала должен содержать не только простое перечисление его характерных частот (масштабов), но и сведения об определенных локальных координатах, при которых эти частоты проявляют себя. Таким образом, анализ и обработка нестационарных (во времени) или неоднородных (в пространстве) сигналов разных типов представляют собой основное поле применений вэйвлет-анализа.

Общий принцип построения базиса вэйвлет-преобразования состоит в использовании масштабного преобразования и смещений. Большинство вэйвлетов порождает полную ортонормированную систему функций с конечным носителем, построенных с использованием масштабного преобразования и сдвигов. Именно за счет изменения масштабов вэйвлеты способны выявлять различие в характеристиках на разных шкалах, а путем сдвига анализировать свойства в разных точках на всем изучаемом интервале. В силу свойства полноты этой системы возможно сделать и обратное преобразование. При анализе нестационарных сигналов за счет свойства локальности вэйвлеты имеют существенное преимущество перед преобразованием Фурье, которое дает только глобальные сведения о частотах (масштабах) исследуемого сигнала, поскольку используемая при этом система функций (синусы, косинусы и комплексные экспоненты) определены на бесконечном интервале [1-4].

На стыке теории вэйвлетов и искусственных нейронных сетей, являющихся мощным средством вычислительного интеллекта, возникло новое направление, получившее название гибридные вэйвлет-нейронные сети, которые показали свой мощный потенциал в задачах обработки информации в различных сферах деятельности [5-14]. Гибридные вэйвлет-нейронные сети представляют собой нейронные сети с прямой передачей информации, в которых в качестве активационных функций используют вэйвлеты. В качестве таковых наибольшее распространение получили вэйвлеты Хаара, Мейера, Морлета, Добеши, Шеннона, POLYWOG-вэйвлеты (POLYnomials WindOwed with Gaussians types of functions), RASP-вэйвлеты (RAtional functions with Second-order Poles) и другие [1-4, 15].

Выбор конкретного вэйвлета, как правило, производится из сугубо эмпирических соображений и может влиять на качество решения рассматриваемой задачи. В данной статье предложен универсальный генератор аналитических четных и нечетных вэйвлетов.

**1 Адаптивная нейронная сеть Фурье для разложения вэйвлетов**

Для анализа структуры и изучения связи между различными вэйвлетами введем в рассмотрение структуру адаптивной нейронной сети Фурье, приведенную на рис. 1.1. Как видно, адаптивная нейронная сеть Фурье является модификацией нейронной сети, предложенной в [16].

При подаче на вход адаптивной нейронной сети текущего значения входного сигнала  $x(k)$  на выходе нейронной сети получаем разложение

$$\hat{y}(x(k)) = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \cos ix(k) + b_i \sin ix(k)) = c^T \varphi(x(k)), \quad (1)$$

где  $c = (a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_n, b_n)^T$  –  $(2n+1) \times 1$ -вектор настраиваемых параметров;  $\varphi(x(k)) = (1, \cos x(k), \sin x(k), \cos 2x(k), \sin 2x(k), \dots, \cos nx(k), \sin nx(k))$ ,  $y(k)$  – точное значение вэйвлета в точках разбиения.

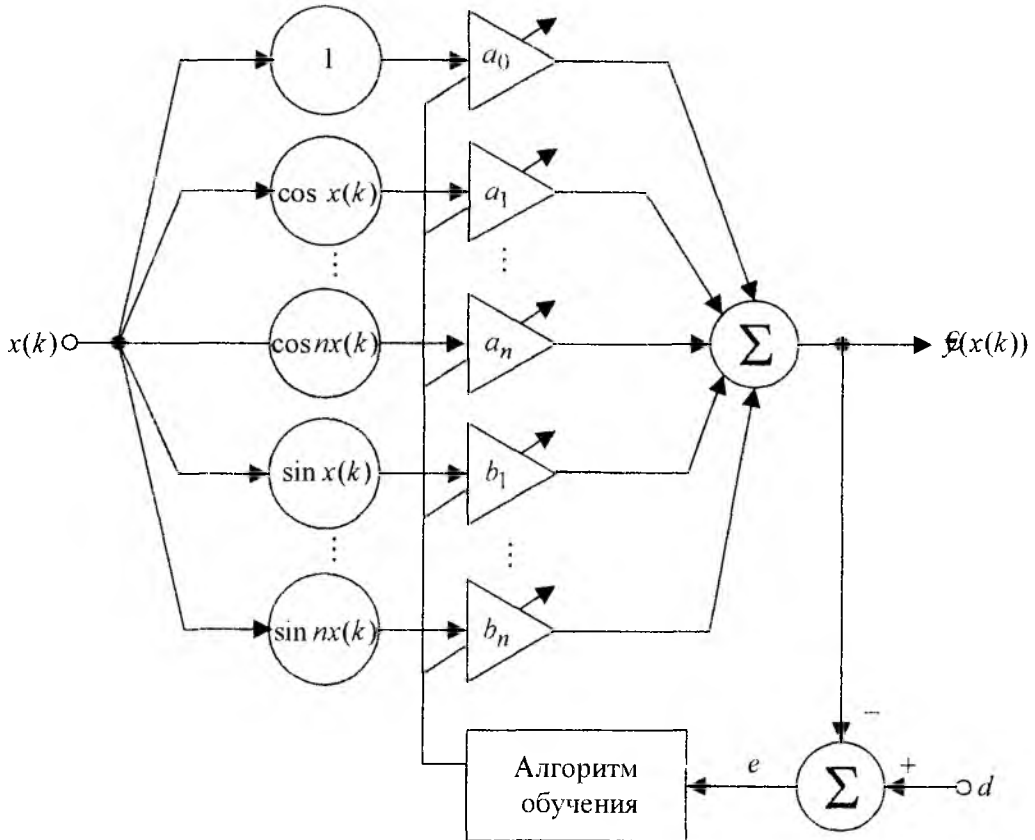


Рис. 1.1. Структура адаптивной нейронной сети Фурье

В качестве процедуры обучения используется алгоритм, основанный на методе наименьших квадратов и минимизирующий критерий вида

$$E^N = \sum_{k=1}^N e^2(k) = \sum_{k=1}^N (y(k) - c^T \varphi(x(k)))^2, \quad (2)$$

заданный на всей обучающей выборке и фактически обеспечивающий решение системы нормальных уравнений

$$\nabla_c E^N = -r_N + R_N c = 0. \quad (3)$$

В рекуррентной форме имеет вид:

$$\begin{cases} P(k+1) = P(k) - \frac{P(k)\varphi(x(k+1))\varphi^T(x(k+1))P(k)}{1 + \varphi^T(x(k+1))P(k)\varphi(x(k+1))}, \\ c(k+1) = c(k) + P(k+1)(y(k+1) - c^T(k)\varphi(x(k+1)))\varphi(x(k+1)), \end{cases} \quad (4)$$

то есть соответствует стандартному рекуррентному методу наименьших квадратов.

## 2 Разложение вэйвлетов с помощью адаптивной нейронной сети Фурье

Наиболее часто используемые на практике аналитические вэйвлеты можно разделить на два вида: четные и нечетные [15, 17]. К четным аналитическим вэйвлетам относятся вэйвлет Морлета, POLYWOG 3, вэйвлет Мексиканская шляпа (POLYWOG 4), вэйвлет Шеннона, представленные на рис. 2.1 а-г, а к нечетным - семейство вэйвлетов RASP, POLYWOG 1, POLYWOG 2, представленные на рис. 2.1 д-и.

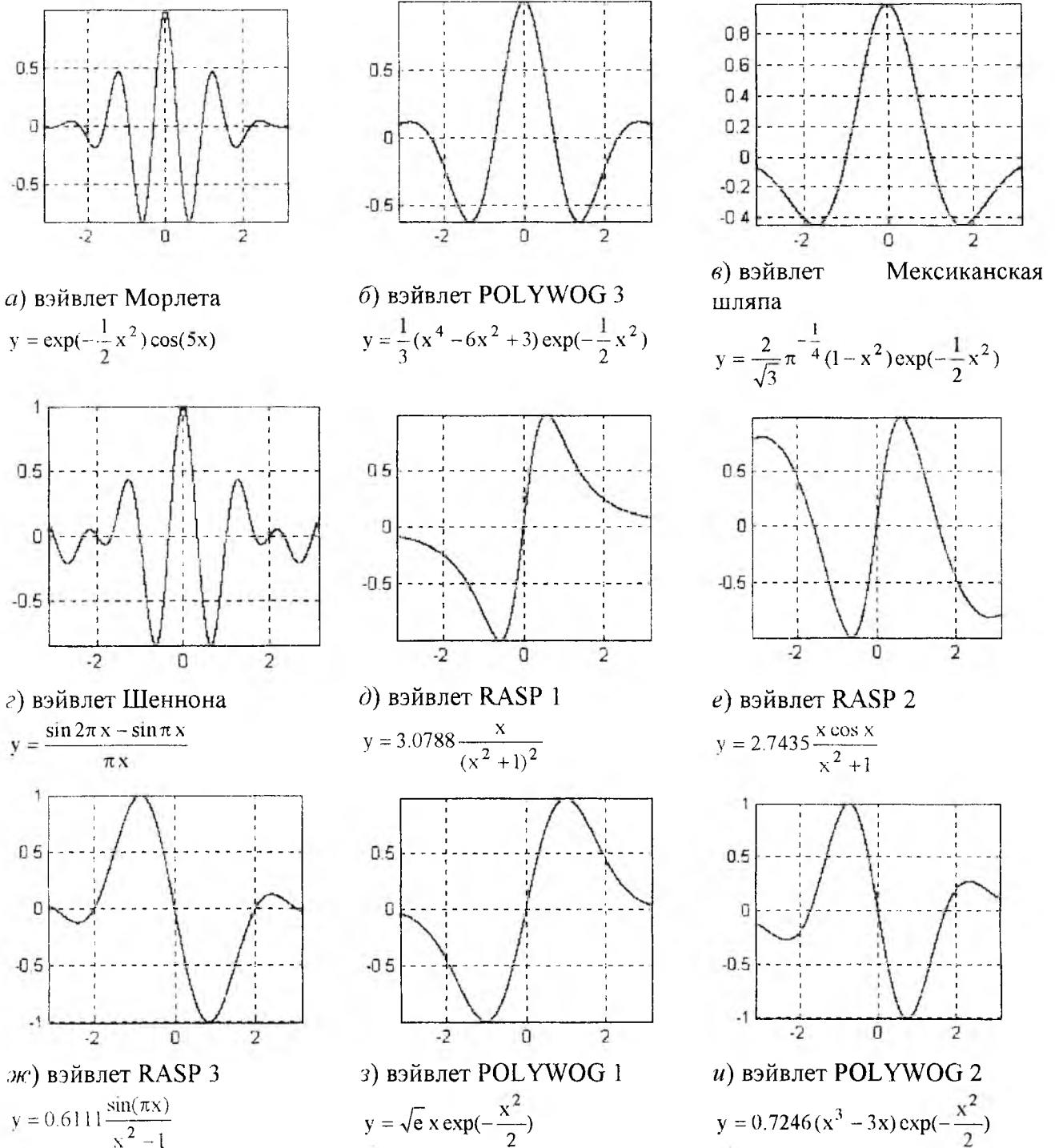


Рис. 2.1. Четные (а-г) и нечетные (д-и) аналитические вэйвлеты

Для разложения принято  $N = 200$  точек разложения,  $n = 10$ , интервал разложения  $[-\pi \pi]$ .

На рис. 2.2 приведены спектральные разложения четных и нечетных вэйвлетов, полученные с помощью адаптивной нейронной сети Фурье.

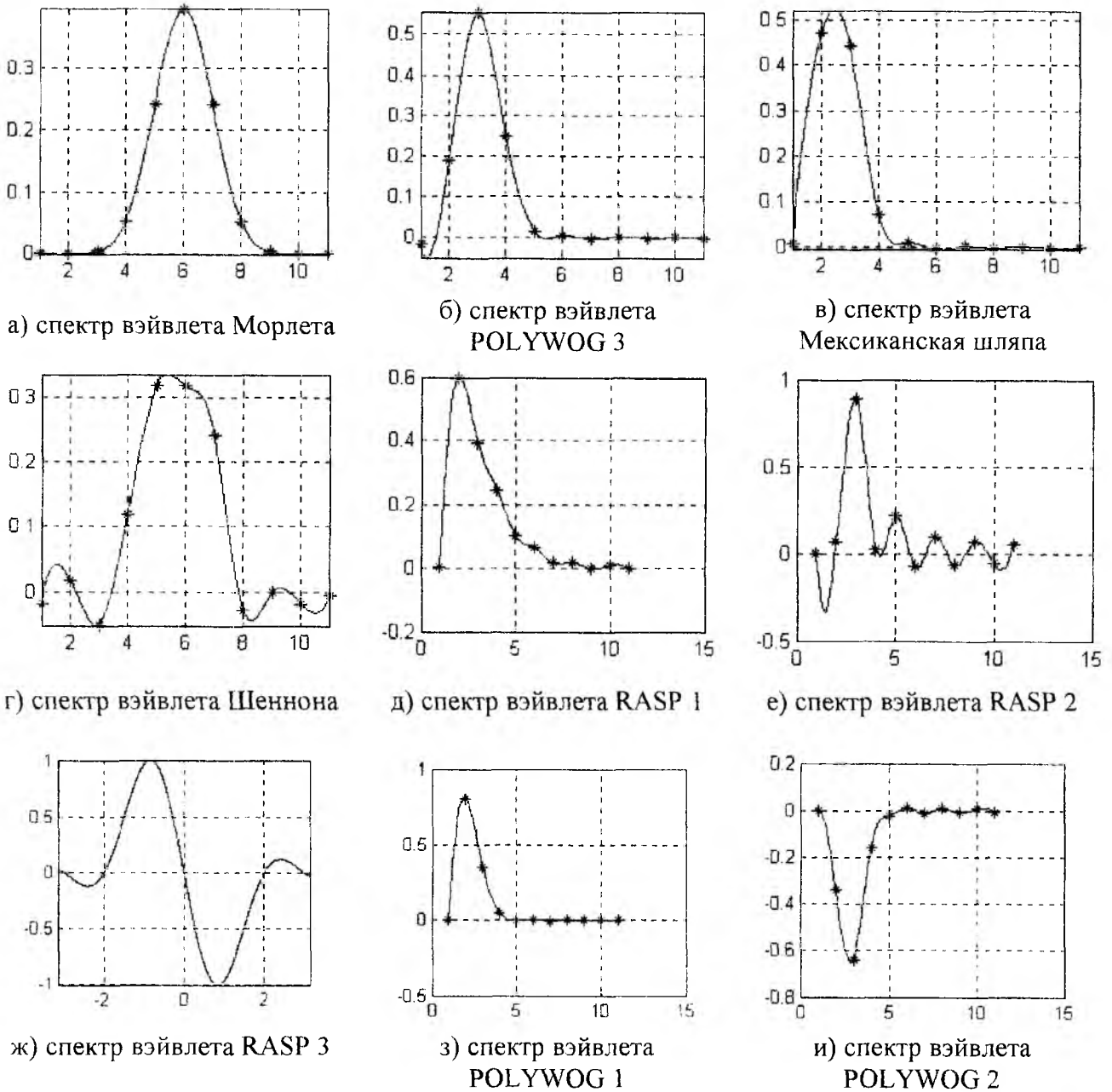


Рис. 2.2. Спектры четных (а-г) и нечетных (д-и) вэйвлетов

Несложно видеть, что все спектры имеют:

- колоколообразный характер;
- сумма всех коэффициентов для каждого разложения равна 0;
- первый коэффициент  $c(0)$  близок к нулю.

Можно также заметить, что распределение коэффициентов разложения  $c = (c(1), c(2), \dots, c(2n))$  каждого рассмотренного вэйвлета ведет себя в среднем как функция Гаусса с разными параметрами смещения  $m$  и сжатия  $\sigma$ :

$$c(i) \approx \exp\left(-\left(\frac{i-m}{\sigma}\right)^2\right), \quad (5)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ , при этом необходимо, чтобы  $\sum_{i=1}^n c(i) = 0$ .

Таким образом, исходя из выше сказанного, можно записать в общем виде форму генератора четных аналитических вэйвлетов:

$$y(x(k)) = \sum_{i=1}^n a_i \cos(i x(k)) = a^T \varphi_{\text{even}}(x(k)), \quad (6)$$

где  $\varphi_{\text{even}}(x(k)) = (\cos x(k), \cos 2x(k), \dots, \cos nx(k))$ , и генератора нечетных аналитических вэйвлетов –

$$y(x(k)) = \sum_{i=1}^n b_i \sin(i x(k)) = b^T \varphi_{\text{odd}}(x(k)), \quad (7)$$

где  $\varphi_{\text{odd}}(x(k)) = (\sin x(k), \sin 2x(k), \dots, \sin nx(k))$ .

### 3 Результаты имитационного моделирования

Для имитационного моделирования предложенных генераторов аналитических вэйвлетов был принят интервал разложения  $[-\pi, \pi]$ , а число слагаемых в разложении  $n = 10$ . Варьируя параметрами смещения  $m$  и сжатия  $\sigma$ , можно получить различные вэйвлеты. Результаты моделирования генератора четных вэйвлетов (6) представлены на рис. 3.1.

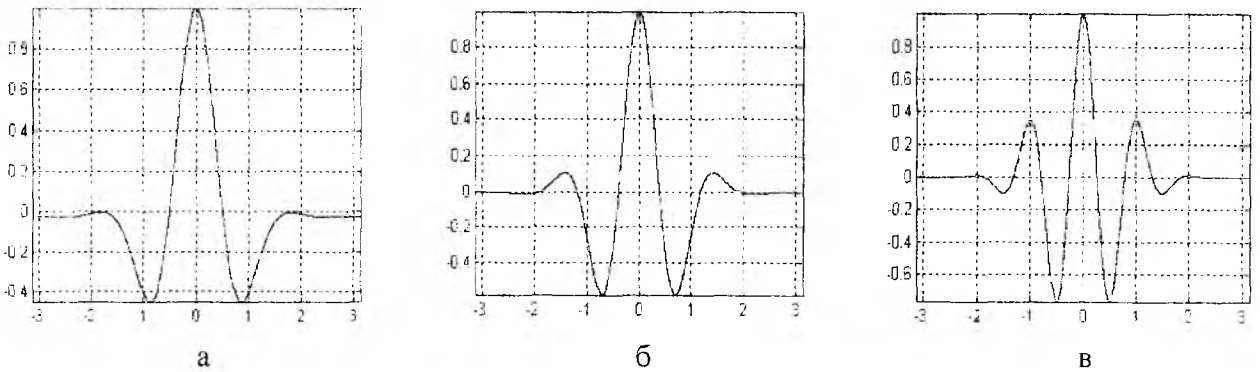


Рис. 3.1. Результаты имитационного моделирования генератора четных вэйвлетов

Несложно видеть, что ситуация, приведенная на рис. 3.1 а, наиболее близка к вэйвлету Мексиканская шляпа, на рис. 3.1 б – вэйвлету POLYWOG 3, на рис. 3.1 в – вэйвлету Морлета.

Результаты имитационного моделирования генератора нечетных вэйвлетов (7) представлены на рис. 3.2.

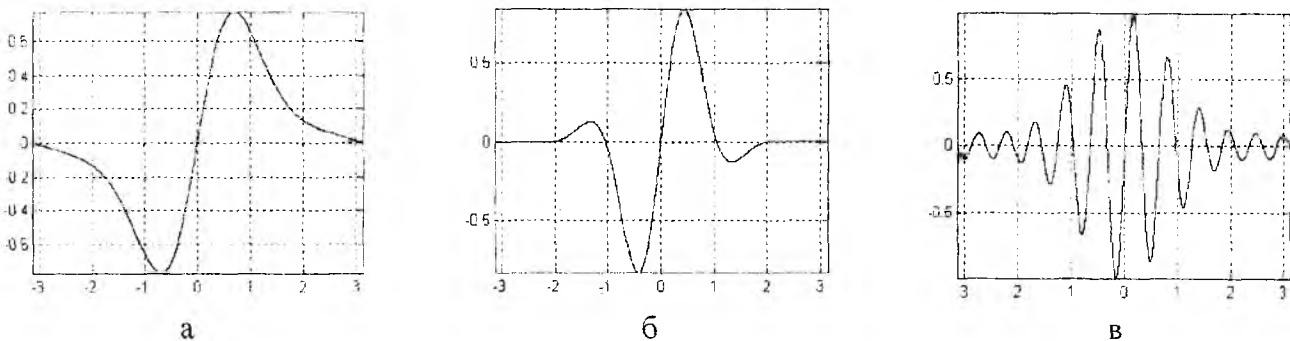


Рис. 3.2. Результаты имитационного моделирования генератора нечетных вэйвлетов

Несложно видеть, что ситуация приведенная на рис. 3.2 а наиболее близка к вэйвлету POLYWOG 1, на рис. 3.2 б – вэйвлету POLYWOG 2, на рис. 3.2 в – вэйвлету RASP 2.

## Заключение

В статье предложен подход к синтезу универсального генератора аналитических вэйвлетов. Для анализа свойств вэйвлетов предложена адаптивная нейронная сеть Фурье и алгоритм ее обучения. Результаты имитационного моделирования показали, что с помощью генератора вэйвлетов можно получить большое семейство вэйвлет-функций.

**Список литературы:** 1. *Mallat S. G.* A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation // *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.* 1989. 11. P. 674-693. 2. *Daubechies I.* The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis // *IEEE Trans. on Information Theory.* 1990. 36. P. 961-1005. 3. *Rioul O., Vetterli M.* Wavelets and signal processing // *IEEE Signal Processing Mag.* 1991. 8. № 4. P. 14-38. 4. *Resnikoff H. L.* Wavelets and adaptive signal processing / Ed. S. Haykin "Adaptive Signal Processing." Proc. SPIE-Int. Soc. Optical Engineering. 1991. 155. P. 370-382. 5. *Zhang Q., Benveniste A.* Wavelet networks // *IEEE Trans. on Neural Networks.* 1992. 3. P. 889-898. 6. *Kobayashi K., Torioka T.* A wavelet neural network for function approximation and network optimization / Eds. C. H. Dagli, Z. R. Fernandez, J. Ghosh, R. T. S. Kumara "Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks". 1994. 4. P. 505-510. 7. *Бодянский Е. В., Винокурова Е. А., Плисс И. П.* Алгоритм обучения искусственной всплеск-нейронной сети // Сб. науч. тр. 1-го Междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2002. 2002. Часть 2. Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ. С. 87-89. 8. *Бодянский Е. В., Винокурова Е. А., Плисс И. П.* Адаптивный алгоритм обучения полиномиального вэйвлет-нейрона // Материалы 10-й междунар. конф. «Автоматика 2003». 2003. Севастополь: Изд-во СевНТУ. Т.3. С.32-34. 9. *Винокурова Е.А.* Вэйвлет-нейрон на основе функции "MEXICAN HAT" // Сб. материалов междунар. научн. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». 2003. Харьков: ХНУРЭ. С. 331-332. 10. *Бодянский Е.В., Винокурова Е.А.* Обучение искусственных всплеск-нейронных сетей при обработке нестационарных стохастических сигналов // *Радиоэлектроника и информатика.* 2003. №1. С.85-89. 11. *Бодянский Е.В., Винокурова Е.А.* Адаптивный вэйвлет-нейронный предиктор // *Проблемы бионики.* 2003. Вып. 58. С. 10-17. 12. *Jiao L., Pan J., Fang Ya.* Multiwavelet neural network and its approximation properties // *IEEE Trans. on Neural Networks.* 2001. 12. P. 1060-1066. 13. *Szu H. H., Telfer B. A., Kadambe S.* Neural network adaptive wavelets for signal representatin and classification // *Optical Engineering.* 1992. 31. № 9. P. 1907 – 1916. 14. *Kadambe S., Srinivasan P.* Applications of adaptive wavelets for speech // *Optical Engineering.* 1994. 33. P. 2204-2211. 15. *Lekutai G., van Landingham H. F.* Self-tuning control of nonlinear systems using neural network adaptive frame wavelets // *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics.* Piscataway, N.J. 1997. 2. P. 1017-1022. 16. *Cichocki A., Unbehauen R.* *Neural Networks for Optimization and Signal Processing.* Stuttgart: Teubner, 1993 526 p. 17. *Vetterli M.* Wavelets and filters banks: Theory and design // *IEEE Trans. Signal Processing Mag.* 1992. 40. № 9. P. 2207-2232.

Поступила в редколлегию 06.04.2004

УДК 681.322

А.П. ВЫРОДОВ, И.Ю. ШУБИН

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ В КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
ДИДАКТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Введение.** Нейронные сети находят повсеместное широкое применение в различных областях современной науки, и задача проектирования компьютерно-ориентированных дидактических систем (КОДС) не является исключением. В настоящее время существует множество подходов к созданию КОДС, в основе которых лежат сложные математические модели. Так, в [1] содержится довольно детальное описание вероятностной математической модели КОДС. Кроме того, там же приведен оригинальный подход к созданию КОДС по аналогии с экспертными системами, описана как методология разработки экспертно-обучающих систем, так и отдельные этапы проектирования. В [2] приведен комплексный подход к построению КОДС на основе применения аппарата нечеткой логики. Математические модели освоения и содержания КОДС описаны в [3]. Там же предложен интересный подход к проектированию КОДС на основе теорий обучения педагогической психологии, позволяющих учитывать психологические особенности познавательного процесса конкретного обучаемого.

Несмотря на неоспоримые достоинства вышеперечисленных подходов к проектированию КОДС, дистанционная форма обучения предъявляет требование эффективного функционирования созданных КОДС в компьютерных сетях. Для удовлетворения данного требования предлагается подход к проектированию КОДС, основанный на принципах построения адаптивных гипермедиа систем. Преимуществом данного подхода является возможность реализации адаптивного обучения при дистанционном образовании, позволяющим учитывать потребности и интересы отдельно взятого обучаемого. Более того, предложенный подход может быть применен не только для проектирования КОДС, а также для создания информационных ресурсов компьютерной сети, оказывающих поддержку пользователю, который их использует для решения определенной задачи или удовлетворения своих информационных потребностей.

Указанный подход подразумевает декомпозицию КОДС на несколько взаимодействующих подсистем, одной из которых является модель обучаемого. В свою очередь модель обучаемого может быть декомпозирована на составляющие ее элементы. Наиболее важную роль в модели обучаемого играет распознаватель схемы изучения предметной области. Данный элемент модели обучаемого КОДС осуществляет распознавание последовательности изучения информации в узлах сети предметной области. От эффективности его функционирования зависит качество адаптации КОДС к познавательным особенностям и интересам обучаемого. Поэтому проектирование распознавателя схемы изучения предметной области является актуальной задачей, стоящей перед разработчиками КОДС.

В данной работе предложен подход к построению распознавателя схемы изучения предметной области модели обучаемого КОДС на основе нейронных сетей, позволяющий определять стратегию изучения материала, которой придерживается обучаемый в процессе ознакомления с предметной областью.

**Анализ предметной области.** Объектом разработки является распознаватель схемы изучения предметной области модели обучаемого КОДС. Как уже было отмечено выше, в основе подхода к проектированию КОДС лежит использование методов искусственного интеллекта в сочетании с технологией гипермедиа. Проектируемая КОДС состоит из следующих подсистем:

- модели обучаемого,
- подсистемы управления гипермедиа-информацией,
- модели предметной области.

Модель обучаемого содержит модуль управления задачами, нечеткую базу правил, распознаватель схемы изучения предметной области и модуль записи интересов обучаемого. Модель обучаемого предлагаемой структуры позволяет формализовать вероятность решения им определенного класса задач, предысторию его взаимодействия с КОДС и виды изученных узлов с целью определения уровня подготовки обучаемого и его интересов.

Подсистема управления гипермедиа использует информацию, вычисленную с помощью модели обучаемого, для предъявления ему учебной информации, адаптированной к его уровню подготовки и текущим интересам. Данная подсистема позволяет учитывать предпочтения преподавателя-предметника относительно схемы изучения учебного материала.

Модель предметной области содержит семантическую сеть понятий предметной области, авторские гиперссылки, гиперссылки, сгенерированные системой, задачи и непосредственно материал предметной области, оформленный в соответствии с технологией гипермедиа. Объединение семантической сети понятий предметной области с ее содержанием, подготовленным по технологии гипермедиа, в рамках КОДС позволяет осуществлять генерацию дополнительных гиперссылок для организации адаптивного обучения.

В описанной структуре КОДС центральным элементом является модель обучаемого, предназначенная для формализации информации о последовательности изучения и видах просмотренных обучаемым узлов, его интересах и способности решать задачи. Указанная информация впоследствии используется для адаптации учебного материала к нуждам и интересам конкретного обучаемого. Данная модель обучаемого отличается от аналогов тем, что оценивание параметров обучаемого основывается не на жестко заданных, зависящих от предметной области метриках, а на инвариантных по отношению к ней.

Использование зависящих от предметной области метрик было подвержено острой критике в [4]. В качестве основного аргумента против использования данных метрик было приведено то обстоятельство, что их разработка сопряжена со значительными временными затратами и поэтому осуществлена только для сравнительно небольшого количества предметных областей.

В предлагаемом подходе текущее моделирование обучаемого осуществляется с помощью инвариантных по отношению к предметной области метрик, а именно: последовательность изучения обучаемым узлов, способность решать задачи и отвечать на вопросы, а также вид узлов в соответствии с семантической сетью, которые были просмотрены обучаемым. Необходимо отметить, что комбинация указанных метрик позволяет составить достаточно точное представление о состоянии знаний обучаемого и его интересах. Данная комбинация может быть использована модулем управления гипермедиа с целью индивидуализации процесса обучения.

Как уже было сказано выше, модель обучаемого содержит следующие составляющие:

- модуль управления задачами,
- нечеткую базу правил,
- распознаватель схемы изучения предметной области,
- модуль записи интересов обучаемого.

Модуль управления задачами предназначен для изменения параметра модели, отвечающего за уровень подготовки обучаемого, в зависимости от результатов решения им задач из изучаемой предметной области. Распознаватель схемы изучения предметной области осуществляет распознавание последовательности изучения информации в узлах сети предметной области. Проектирование этого элемента модели обучаемого и приводится в данной работе. Нечеткая база правил связывает схему изучения с информацией, получаемой от модуля управления задачами, с целью выявления стратегии изучения материала обучаемого.

Функциональное назначение модуля записи интересов обучаемого заключается в фиксировании классов узлов, которые обучаемый просмотрел в процессе работы с КОДС, результатов решения обучаемым задач и его текущего уровня подготовки. Последние два па-

раметра обучаемого поступают от модуля управления задачами. Класс узла определяется с помощью семантической сети предметной области. Используя информацию в модуле записи интересов обучаемого, КОДС адаптирует учебный материал к потребностям конкретного обучаемого посредством предъявления ему только гиперссылок, соответствующих его интересам и целям обучения, а также уменьшая количество гиперссылок для обучаемых, плохо знакомых с данной предметной областью.

Основную сложность при создании описанной модели обучаемого КОДС составляет разработка распознавателя схемы изучения предметной области, так как от точности определения последовательности изучения информации в узлах сети предметной области зависит выявление стратегии изучения материала, которой придерживается обучаемый, и, следовательно, качество адаптации к его потребностям и интересам. Как показано в [5], распознавание схемы изучения предметной области позволяет извлечь психологическую информацию об обучаемом, которая может быть использована для адаптации предъявления материала предметной области к потребностям и интересам конкретного обучаемого. Там же была подчеркнута необходимость разработки метода определения схемы изучения предметной области, что и явилось целью данной работы.

**Постановка задачи.** В данной работе решается задача разработки распознавателя схемы изучения предметной области, который входит в состав модели обучаемого КОДС. Данный распознаватель осуществляет определение схемы изучения обучаемым предметной области в процессе его перемещения из одного узла в другой. Полученная информация используется для определения стратегии изучения учебного материала, которой придерживается обучаемый, с целью адаптации КОДС к его потребностям и интересам.

Под схемой изучения предметной области в данной работе понимается используемая обучаемым последовательность перемещения по сети информационных узлов. В [5] были выделены следующие четыре схемы изучения низкого уровня:

- а) «путь» — последовательность изучения узлов, в которой ни один из них не встречается дважды (рис. 1а);
- б) «кольцо» — последовательность изучения узлов, которая начинается и заканчивается одним и тем же узлом, причем допускается вложенность одной схемы данного вида в другую (рис. 1б);
- в) «цикл» — кольцо, которое не содержит вложенных схем (рис. 1в);
- г) «пик» — последовательность изучения узлов, возвращающаяся в исходный узел по одному маршруту (рис. 1г).

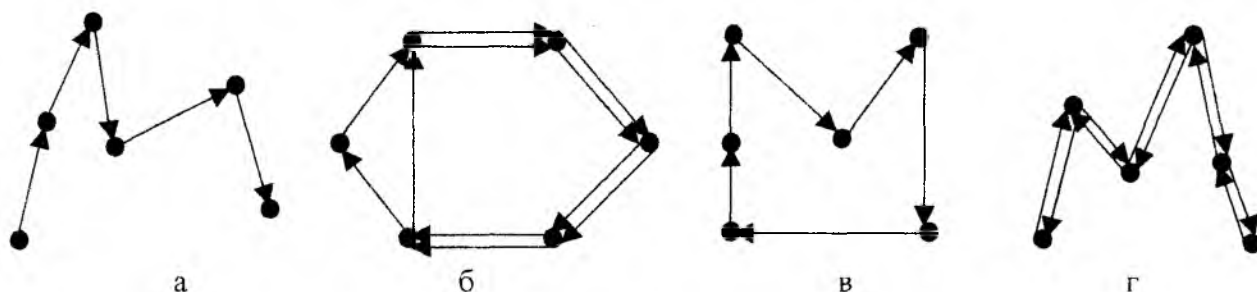


Рис. 1 Схемы изучения низкого уровня:  
а) – путь, б) – кольцо, в) – цикл, г) – пик

Вышеописанные схемы низкого уровня, соединяясь друг с другом, формируют схемы более высокого уровня (рис. 2), которые позволяют определить используемую обучаемым стратегию изучения. Данное обстоятельство обуславливает основную сложность при автоматическом распознавании схем изучения, поскольку не известно, где одна схема начинается, а другая заканчивается.

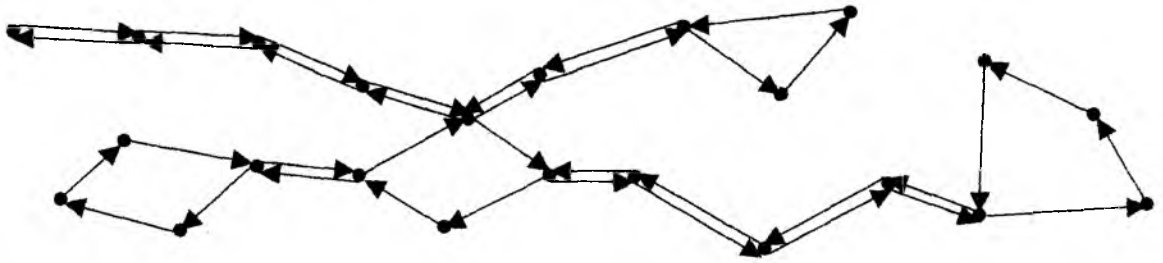


Рис. 2 Пример составной схемы изучения

Таким образом, для распознавания схем изучения высокого уровня необходимо сначала построить распознаватель схем низкого уровня.

**Выбор метода решения задачи.** Задача распознавания схем изучения предметной области аналогична задаче распознавания символов (текста). Основанием для данного суждения служит то обстоятельство, что обе задачи сводятся к классификации конечного количества образов из потенциально бесконечного множества возможных входных данных. Действительно, в алфавите русского языка 33 буквы, аналогично в данной задаче нам необходимо распознать 4 схемы низкого уровня. На первый взгляд может показаться, что задача распознавания символов превосходит по сложности задачу распознавания схем изучения, так как количество распознаваемых образов в этом случае гораздо больше. Однако это не так, поскольку в рассматриваемой задаче размер каждого образа неизвестен, в то время как в задаче распознавания символов он является фиксированным.

Выявленная аналогия между задачей распознавания символов и задачей распознавания схем изучения позволяет использовать метод решения первой для решения второй. В [6] для решения задачи распознавания символов предлагается использовать нейронные сети. Действительно, применение нейронных сетей к решению задачи распознавания схем изучения целесообразно по причине нечеткой природы распознаваемых схем. Хотя насчитывается только четыре вида схем низкого уровня, но они могут объединяться друг с другом в составные схемы произвольной сложности (см. рис. 2). Как показано в [7], нейронные сети вполне могут справиться с нечеткой природой распознаваемых схем, в то время как системы, основанные на правилах, потребуют точного кодирования каждой возможной комбинации.

Более того, нейронные сети обладают высоким быстродействием и иногда оказываются единственным методом решения задачи в случае, когда входные данные являются неточными или неполными. Хотя в [5] выявлены только приведенные выше четыре типа схем изучения низкого уровня, вполне может оказаться, что на самом деле их больше. В этом случае нейронная сеть может быть быстро обновлена посредством введения дополнительных параметров, представляющих выявленные схемы, в то время как система, основанная на правилах, скорее всего, потребует полной переработки.

Последним доводом в пользу применения нейронных сетей для решения поставленной задачи является относительно небольшой интервал времени на разработку системы по сравнению с системами, основанными на правилах. Разработка системы, основанной на нейронных сетях, производится в несколько раз быстрее, чем разработка системы, основанной на правилах [8]. Данное обстоятельство объясняется тем, что нейронная сеть действует также как и система, основанная на правилах, с тем лишь отличием, что ее правила не фиксированы, а формируются в процессе обучения на наборе примеров выбранной предметной области. Как показано в [8], пока существует достаточное количество примеров в предметной области, нейронная сеть может обучаться на них и формировать свои правила гораздо быстрее, чем разработчик сможет их сформулировать.

Из всего вышесказанного следует вывод, что построение распознавателя схемы изучения предметной области, который является составляющей модели обучаемого КОДС, целесообразно осуществлять на основе нейронных сетей.

**Архитектура распознавателя схем изучения.** В настоящее время существует достаточно большое количество различных архитектур нейронных сетей, большинство из которых требуют дальнейшего исследования [7]. На практике одной из наиболее часто используемых сетей является многослойная нейронная сеть с прямой связью [7]. Теоретически данная сеть позволяет аппроксимировать любую математическую функцию, отображая множество входов на множество выходов. Однако на практике иногда бывает довольно сложно обучить данную нейронную сеть для аппроксимации заданной функции. Проблема заключается в обучении нейронной сети. Многие виды нейронных сетей создавались с целью решения данной проблемы. Это несколько упрощает выбор архитектуры нейронной сети. Если нейронная сеть выбранной архитектуры может быть обучена за приемлемый интервал времени, то она подходит для решения поставленной задачи. В противном случае следует осуществить выбор другой архитектуры нейронной сети.

Выбранная для реализации распознавателя схемы изучения предметной области многослойная нейронная сеть с прямой связью требует обучения с учителем. Данное обстоятельство означает, что должно быть заранее подготовлено обучающее множество, показывающее, какие результаты должна давать сеть при определенных исходных данных.

Исходными данными, которые подаются на вход нейронной сети, являются двоичные последовательности, в которых единицей кодируется просмотренный обучаемым узел сети понятий предметной области, а нулем — еще не просмотренный. Такой подход позволяет закодировать все вышеописанные схемы изучения низкого уровня. Примеры кодирования указанных схем изучения предметной области приведены в табл. 1.

Таблица 1

Входная последовательность	Схема изучения
00000000001111111111	пик – возврат в исходный узел по тому же маршруту
00000001000000100010	3 цикла – один из узлов обучаемый уже просматривал
00000000000000000001	кольцо – возврат в исходный узел по другому маршруту
00000000000000000000	путь – последовательность новых или уже просмотренных узлов

При очевидных преимуществах данного представления исходных данных оно имеет существенный недостаток — по истечении определенного промежутка времени предметная область становится переполненной «просмотренными» узлами. Причем, отсутствует возможность определить, какой из узлов был просмотрен в более поздний момент времени.

Устранить данный недостаток можно посредством использования для представления исходных данных вещественных чисел вместо целых. Когда обучаемый просматривает произвольный узел, он маркируется единицей. По истечении промежутка времени, в то время как обучаемый переходит от одного узла к другому, значения просмотренных узлов уменьшаются на малое вещественное число. Так продолжается до тех пор, пока значение просмотренного узла не станет равным нулю, что можно интерпретировать, как «узел, просмотренный очень давно». Такой подход позволяет закодировать временную информацию и более полно моделировать схемы изучения предметной области. Например, пик может быть промоделирован следующей последовательностью вещественных чисел:

$$0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,9,0,8,0,7,0,6,0,5,0,4,0,3,0,2,0,1.$$

Таким образом, входными данными для выбранной нейронной сети является закодированная вещественными числами последовательность просмотра узлов предметной области. Другими словами, если сеть имеет  $n$  входов, то на первый вход подается состояние текущего узла, а на

$n$ -ый вход — состояние узла, просмотренного обучаемым  $n$  узлов ранее. Здесь поднимается следующий вопрос: каким же должно быть количество входов у создаваемой сети? Чем больше входов имеет сеть, тем она является более сложной и тем труднее ее обучить. Для определения оптимальной сети был проведен ряд экспериментов, результаты которых описаны ниже.

Суть данных экспериментов заключалась в том, что на вход предварительно обученной нейронной сети подавалась закодированная описанным способом схема изучения известной конфигурации и измерялась точность ее распознавания нейронной сетью. Обучение нейронной сети проводилось с помощью схем изучения, сформированных в процессе работы студентов 3-го курса специальности «Программное обеспечение автоматизированных систем» Харьковского национального университета радиозлектроники с КОДС по курсу «Средства мультимедиа в новых информационных технологиях». Всего в эксперименте приняло участие 120 студентов, что позволило сформировать обучающее множество из 600 элементов.

**Экспериментальное исследование нейросетевой модели.** В ходе проведения экспериментов изменялись следующие параметры нейронной сети: количество входов, количество скрытых нейронов и мощность обучающего множества.

Количество входов нейронной сети менялось от 8 до 16. Оптимальное значение определялось по наиболее высокой точности распознавания схемы изучения предметной области. Количество выходов оставалось неизменным на протяжении всего эксперимента и равным четырем — по одному для каждой схемы низкого уровня (пик, цикл, кольцо и путь).

Количество скрытых нейронов непосредственно определяет способность нейронной сети к обучению. На сегодняшний день не существует единого теоретического метода определения требуемого количества скрытых нейронов. Однако в [9] дается следующая рекомендация по данному вопросу: количество скрытых нейронов должно находиться посередине между количеством входов и выходов нейронной сети. Поэтому единственным способом определения оптимального количества скрытых нейронов является проведение экспериментов. В ходе проведения данных экспериментов количество скрытых нейронов менялось от исходной аппроксимации (середина между количеством входов и выходов) с шагом 2. Так, поскольку первая исследуемая конфигурация нейронной сети имела 4 выхода и 8 входов, то начальное значение количества скрытых нейронов составляло 6. Впоследствии при изменении количества входов и соответствующем изменении размера распознаваемой схемы, число скрытых нейронов менялось в заданном диапазоне для определения оптимального значения.

Мощность обучающего множества также менялась в ходе экспериментов. Очевидно, что она должна быть достаточно большой для адекватного обучения нейронной сети. В противном случае в ходе эксплуатации созданной нейронной сети на ее вход могут поступить данные, распознавать которые она не обучена. При проведении экспериментов использовались два множества мощностью 60 и 600 элементов соответственно. Причем, вначале использовалось множество мощностью 60, поскольку оно позволяет наиболее быстро обучить нейронную сеть. И только после проведения полностью всей серии экспериментов с конфигурацией нейронной сети она была обучена с помощью множества мощностью 600 для определения зависимости качества распознавания схем от мощности обучающего множества.

Результаты экспериментов сведены в табл. 2. В столбце «Результаты обучения» содержатся результаты работы нейронной сети в процессе ее обучения (процент успешного распознавания схемы нейронной сетью). Данные результаты не являются показателем окончательных характеристик нейронной сети, поскольку она могла помнить данные ей примеры и показывать плохой результат на входных данных, которые ей еще не встречались. Тем не менее, эта информация позволяет судить о полноте обучения нейронной сети.

Столбец «Результаты эксперимента» играет наиболее важную роль при определении эффективности работы нейронной сети, так как ей предлагаются входные данные, с которыми она еще не встречалась. Именно с помощью данного значения и была подобрана оптимальная архитектура и конфигурация нейронной сети. Поскольку нейронной сети предлага-

лись неполные и неточные входные данные, 100%-ный результат распознавания получен не был и теоретически маловероятен. Однако, чем ближе значение в данном столбце к 100%, тем эффективнее работает спроектированная нейронная сеть.

Таблица 2

№	Количество входов	Количество скрытых нейронов	Мощность обучающего множества	Результаты обучения (%)	Результаты эксперимента (%)
1	8	6	60	69	52
2	10	6	60	72	57
3	12	6	60	77	63
4	14	6	60	79	64
5	16	6	60	85	68
6	16	8	60	86	70
7	16	10	60	90	75
8	16	12	60	91	75
9	8	6	600	61	48
10	10	6	600	62	48
11	12	6	600	68	58
12	14	6	600	68	63
13	16	6	600	70	66
14	16	8	600	78	72
15	16	10	600	84	79
16	16	12	600	88	83
17	16	14	600	87	80
18	16	16	600	81	77
19	16	18	600	81	79
20	16	20	600	79	75
21	16	22	600	80	75
22	16	24	600	78	76
23	16	26	600	79	74
24	16	28	600	78	71
25	18	14	600	85	81
26	20	14	600	82	81
27	22	14	600	82	79
28	24	14	600	79	76
29	18	18	600	82	78
30	20	18	600	83	78
31	22	18	600	84	79
32	24	18	600	82	77

В строках 1–8 табл. 2 разность между результатами обучения и тестирования нейронной сети имеет большее значение, чем в строках 9–16. Данное обстоятельство объясняется нехваткой обучающих примеров: нейронная сеть показывает хорошие результаты на входных данных, которые она видела, и средние — на входных данных, которых она не видела. Анализируя данные в строках 1–16 табл. 2 можно сделать вывод, что увеличение количества скрытых нейронов приводит к повышению эффективности работы сети.

В строках 17–24 при дальнейшем увеличении количества скрытых нейронов наблюдается снижение эффективности работы сети, что свидетельствует о пропуске оптимальной кон-

фигурации. Данное обстоятельство находится в прямом соответствии с рекомендацией, согласно которой оптимальное количество скрытых нейронов находится посередине между количеством входов и выходов нейронной сети [9].

Анализируя данные в строках 25–32 табл. 2, можно прийти к выводу, что увеличение количества входов сети по сравнению с данными остальных строк таблицы вызывает понижение эффективности работы сети, даже несмотря на ввод дополнительных скрытых нейронов. Это объясняется повышением сложности схемы, поступающей на вход нейронной сети.

Наибольшая эффективность работы нейронной сети достигается при 16 входах, 12 скрытых нейронах и обучающем множестве из 600 элементов (строка 16 табл. 2). Таким образом, оптимальная конфигурация нейронной сети для распознавателя схемы изучения модели обучаемого КОДС содержит 16 вещественных входов, 4 выхода, 12 скрытых нейронов и должна быть обучена с помощью обучающего множества из 600 элементов.

Необходимо отметить, что спроектированная нейронная сеть имеет следующую специфическую особенность. Сеть однозначно идентифицирует распознаваемую схему изучения только по истечении промежутка времени после того, как схема полностью поступила на ее вход. За это время обучаемый успевает просмотреть 1–3 узла предметной области. Однако для целей применения созданной нейронной сети в составе модели обучаемого КОДС данная задержка не играет существенной роли, поскольку указанное количество перемещений обучаемого не позволяет судить о выбранной им стратегии изучения материала. Тем не менее, от данного недостатка можно избавиться посредством привязки нейронной сети к типам схем изучения низкого уровня. Новая нейронная сеть будет идентифицировать схемы изучения, исследуя ту часть исходных данных, в которой производится переход от новых узлов к просмотренным. Для функционирования такой сети необходимо на ее вход подавать данные о предшествующей схеме изучения. С новой нейронной сетью были проведены эксперименты, аналогичные описанным выше. В результате экспериментов была найдена следующая оптимальная конфигурация данной нейронной сети: 5 входов (4 — для распознавания типа перехода и 1 — для учета предыдущей схемы), 4 выхода, 10 скрытых нейронов и обучающее множество из 600 элементов.

**Выводы.** В данной работе были построены 2 нейросетевые модели распознавателя схемы изучения предметной области. Полученные модели входят в состав модели обучаемого КОДС. Первая модель имеет большее количество входов и не зависит от типов схем изучения низкого уровня, но распознает схемы с небольшой задержкой. Вторая модель свободна от указанного недостатка, имеет меньшее количество входов, но привязана к типам схем низкого уровня. Спроектированные модели инвариантны по отношению к предметной области и могут быть использованы не только в КОДС, а также и в составе информационной системы, адаптирующейся к потребностям и интересам работающего с ней пользователя.

**Список литературы:** 1. Петрушин Э.Г. Экспертно-обучающие системы. М.: Наука, 1992. 272 с. 2. Белоус Н.В., Шубин И.Ю., Выродов А.П. Математические аспекты проектирования интегрированной среды разработчика компьютерных обучающих систем // Сб. науч. трудов 5-й Междунар. конф. Укр. ассоц. дистан. образования. Харьков-Ялта: УАДО, 2001. С. 335 – 341. 3. Соловов А.В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения: Уч. пособие. Самара: СГАУ, 1995. 138 с. 4. Woods P., Warren J. Rapid Prototyping of an Intelligent Tutoring System // Proceedings of the Australian Society for Computers in Learning in Tertiary Education Conference. 1995. P. 103 – 107. 5. Canter D., Rivers R., Storrs G. Characterising User Navigation through Complex Data Structures // Behaviour and Information Technology. 1985. Volume 4, Issues 2. P. 93 – 102. 6. Skapura D. Building Neural Networks. Addison-Wesley, 1996. 286 p. 7. Gurney K. An Introduction to Neural Networks. UCL Press, 1997. 224 p. 8. Chiu C., Norcio A.F., Petrucci K.E. Using Neural Networks and Expert Systems to Model Users in an OO Environment // Proceedings of the 1991 IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics. 1991. Volume 3, P. 1943 – 1948. 9. Masters T. Practical Neural Network Recipes in C++. Academic Press, 1993. 493 p.

Поступила в редколлегию 27.04.2004

УДК 681 327, 007.001.362

С.В. ОМЕЛЬЧЕНКО, В.В. ПРЕСНЯКОВА

**АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СПЕКТРУ**

Распознавание изображений широко применяются при решении прикладных задач в радиолокации, системах навигации, связи, вводе текста в компьютер, технической и медицинской диагностике. Перспективным направлением повышения качества распознавания речи является совместное использование отсчетов речевых сигналов и в качестве дополнительной информации – изображений мимики лица диктора во время ввода речи.

Распознавание включает ряд основных этапов: ввод и дискретизация изображения, сегментация, нормализация выделенных объектов, принятие решений.

Задача распознавания изображений требует ответа на вопрос: относятся ли предъявляемые изображения к классу изображений, который представляет известный эталон или заданное множество эталонов? Ответ можно получить, сравнивая непосредственно изображение с эталонами (или их признаками). При этом изображения предъявляются на фоне помех. Эталонные и входные изображения отличаются положением в поле зрения. Отличия входных и эталонных изображений возникают в результате изменения освещенности, подсветки, локальных случайных помех, из-за геометрических преобразований.

Для решения задачи распознавания в целом и на отдельных ее этапах применяются различные методы сегментации, предварительной обработки, нормализации и принятия решений.

На точность оценки параметров модели существенно влияет уровень помех, возникающих при передаче изображения. Задача этих исследований состоит в определении метода снижения влияния шумов на точность систем автоматического распознавания изображения.

Операция предобработки необходима в целях снижения помех на изображении, возникших в результате дискретизации и квантования, а также подавления внешних шумов. Как правило, это операции усреднения и выравнивания гистограмм распределений амплитуд изображений.

Целью статьи является создание алгоритмов распознавания изображения в условиях действия помех.

Рассмотрим математическую постановку задачи распознавания слов изображения.

Полагается, что на вход системы распознавания поступает временная последовательность отсчетов сигнала изображения  $x_{n1, n2}$ ,  $n_1 = \overline{1, N_1}$ ,  $n_2 = \overline{1, N_2}$ , взятых с интервалом дискретизации  $\Delta t$ .

Для создания алгоритмов распознавания важны априорные сведения. Эталоны заданы в виде классифицированных обучающих выборок.

Считается, что время предъявления изображения априори не известно. Положим, что априорные вероятности предъявления для всех классов изображения одинаковы.

Необходимо выбрать алгоритм, который по предъявленной реализации изображения выносит решения о конкретном типе изображения и обеспечивает максимум средней вероятности правильного распознавания, при этом средняя вероятность правильного распознавания изображения не менее заданной при воздействии аддитивной помехи в канале связи с заданным отношением сигнал-шум  $q$ .

Процесс распознавания изображений является сложной многоэтапной процедурой. Многоэтапность обусловлена тем, что различные задачи обработки на самом деле тесно связаны и качество решения одной из них влияет на выбор метода решения остальных. Так, выбор метода распознавания зависит от конкретных условий предъявления входных изображений, в том числе характера фона, других изображений, помеховой обстановки и связан с выбором методов предобработки, сегментации, фильтрации.

Решение задачи распознавания изображения и ряда других задач во многом связано с успешным проведением сегментации изображения на структурные единицы. Подобная сегментация на этапе распознавания структурных единиц позволяет исключить избыточные процедуры принятия решений по сигналам, не несущим полезную информацию. Задача сегментации состоит в членении изображения на структурные единицы и оценивании их временных границ

Сегментация изображений состоит в выделении однородных областей на изображении. Наиболее распространены методы сегментации, основанные на определении однородных яркостей (цветов) или однородностей типа текстур.

При существовании стабильных различий в яркостях отдельных областей изображения применяются пороговые методы. Методы наращивания областей эффективны при наличии устойчивой связности внутри отдельных сегментов.

Предварительная обработка осуществляется путем выбеливания изображения в частотной или временной области.

Рассмотрим распознавание изображения, полученного в результате предварительной обработки.

Оценка модуля двумерного Фурье-преобразования с учетом окна  $w(m, n)$  имеет вид

$$c(u, v) = \frac{1}{MN} \left| \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} w(m, n) \cdot x(m, n) \cdot \exp(-i \cdot 2\pi \cdot (\frac{um}{M} + \frac{vn}{N})) \right|. \quad (1)$$

При коррелограммном методе оценивания отсчеты двумерной спектральной плотности мощности

$$c_{KP}(u, v) = C \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} w(m, n) \cdot r(m, n) \cdot \exp(-i \cdot 2\pi \cdot (\frac{um}{M} + \frac{vn}{N})), \quad (2)$$

где  $r(m, n)$  - оценки двумерной стационарной корреляционной функции;  $w(m, n)$  - двумерное окно (например Хемминга  $1/1$ ).

Рассмотрим двумерные авторегрессионные спектральные оценки.

Двумерная авторегрессионная последовательность имеет вид

$$x[i, j] = -\sum_m \sum_n a[m, n] \cdot x[i - m, j - n] + w[i, j],$$

где  $w[i, j]$  - двумерная последовательность белого шума.

Оценки авторегрессионных параметров  $a_{1(m,n)}$  и  $a_{2(m,n)}$  могут быть получены из решений уравнений Юла-Уолкера в первом и во втором квадранте соответственно.

Формально двухканальный алгоритм Левинсона определяется следующим соотношением

$$\begin{aligned} E_0 &= R_{xx}(0). \\ A_m(m) &= -(R_{xx}(m) + \sum_{j=1}^{m-1} A_{m-1}[j] R_{xx}(m-j)) \cdot [E_{m-1}]^{-1}. \\ A_m(j) &= A_{m-1}(j) + A_m(m) A_{m-1}^H(m-j), \quad 1 \leq j \leq m-1, \\ E_m &= (I - A_m(m) A_m^H(m)) E_{m-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $R_{xx}[k] = \begin{pmatrix} r_{00}[k] & r_{01}[k] & \dots & r_{0p_2}[k] \\ r_{10}[k] & r_{11}[k] & \dots & r_{1p_2}[k] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p_20}[k] & r_{p_21}[k] & \dots & r_{p_2p_2}[k] \end{pmatrix} = R_{xx}^H[-k]$  – многоканальная корреляционная

матрица для сдвига  $k$ ;

$A_{p_2}[j] = \begin{pmatrix} a_1(j,0) \\ a_1(j,1) \\ \dots \\ a_1(j,p_2) \end{pmatrix}$  – вектор авторегрессионных параметров.

Аналогично можно выполнить двумерную авторегрессионную спектральную оценку

$$c_{AR}(u, v)^{-1} = p_1(u, v)^{-1} + p_2(u, v)^{-1},$$

где  $p_1(u, v) = \frac{\rho_w}{MN} \left| \sum_{m=0}^{p_1} \sum_{n=0}^{p_2} a_1(m, n) \cdot \exp(-i \cdot 2\pi \cdot (\frac{um}{M} + \frac{vn}{N})) \right|^{-2}$  – двумерная спектральная оценка

в первом квадранте;

$p_2(u, v) = \frac{\rho_w}{MN} \left| \sum_{m=0}^{p_1} \sum_{n=0}^{p_2} a_2(m, n) \cdot \exp(-i \cdot 2\pi \cdot (\frac{um}{M} + \frac{vn}{N})) \right|^{-2}$  – двумерная спектральная оценка во

втором квадранте;

$a_{1(m,n)}$  и  $a_{2(m,n)}$  - оценка авторегрессионного параметра, полученная из решения уравнений Юла-Уолкера в первом и во втором квадранте соответственно.

Двумерная авторегрессионная спектральная оценка на основе метода максимальной энтропии имеет вид

$$c_{ММЭ}(u, v) = 1 / \sum_{m=-p_1}^{p_1} \sum_{n=-p_2}^{p_2} \alpha(m, n) \exp(-i2\pi(\frac{um}{M} + \frac{vn}{N})). \tag{4}$$

Нелинейные преобразования выполняются в виде

$$d(u, v) = \ln(|c(m, n) + \alpha|), \quad d(u, v) = |c(m, n)|^r, \tag{5}$$

где параметр  $r=1/4; 1/2; 1; 2$ .

Решение на основе оценок расстояния между эталоном и распознаваемым сигналом принимается в соответствии с выражением

$$i(k) = \arg \min_{j \in [1, M]} R^{(k, j)}, \tag{6}$$

где  $M$ - количество эталонов.

Среднее расстояние можно вычислить в виде

$$R^{(k, j)} = \min_{m, h_1, h_2} \left( \sum_{v_2=1}^M \sum_{v_1=1}^N |d_{v_1+h_1, v_2+h_2}^{(k, m)} - d_{v_1, v_2}^{(j, m)}|^r \right), \tag{7}$$

где  $r$  - параметр расстояния.

Это расстояние можно ввести также в виде

$$R^{(k,j)} = - \max_{m,h_1,h_2} \left( \sum_{v_2=1}^M \sum_{v_1=1}^N C \exp(- (d_{v_1+h_1,v_2+h_2}^{(k,m)} - d_{v_1,v_2}^{(j,m)})^2 / \sigma^2) \right) \quad (8)$$

Или 
$$R^{(k,j)} = - \max_{m,h_1,h_2} \left( \sum_{v_2=1}^M \sum_{v_1=1}^N (d_{v_1+h_1,v_2+h_2}^{(k,m)} - d_{v_1,v_2}^{(j,m)})^2 + \alpha^2 \right)^{-1} \quad (9)$$

Для проверки предложенных алгоритмов распознавания изображений были проведены экспериментальные исследования. В качестве эталонов использовались изображения русских букв. Средняя вероятность правильного распознавания оценивалась по контрольным изображениям русских букв методом статистических испытаний.

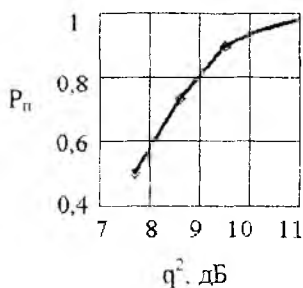


Рис. 1 Зависимость вероятности правильного распознавания от отношения сигнал-шум

Для алгоритмов распознавания изображения букв по оценкам спектра, параметре нелинейного преобразования \$\gamma=1/2\$ и коррелорограмном методе (\$\gamma=1/4\$) при использовании одного эталона на каждое из слов получена средняя вероятность правильного распознавания 0,97 (для того же шрифта).

На рис.1 приведена зависимость вероятности правильного распознавания букв по оценкам спектра (1) от отношения сигнал-шум \$q^2\$, дБ.

Таким образом, разработаны и исследованы алгоритмы распознавания изображения букв на основе результата оценивания двумерных спектров. Проведенные исследования алгоритмов распознавания подтверждают возможность получения приемлемого качества распознавания изображений в условиях действия помех.

Список литературы: 1. Марпл-Мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с.

Поступила в редколлегию 12.08.2004

УДК 681.518.54

АЛЕКСАНДР М. ЦЫМБАЛ, АЛЕКСЕЙ М. ЦЫМБАЛ

**РАЗРАБОТКА ОБОЛОЧКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПСИХИАТРИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Экспертные системы (ЭС), как класс программного обеспечения, появились достаточно давно – в середине 70-х годов прошлого века. С их разработкой связывался качественно новый скачок развития программного обеспечения. ЭС, как казалось, вот-вот будут способны заменить человека – специалиста (иначе эксперта) в определенной области знаний, и мир будет насыщен автоматами, самостоятельно решающими сложные неформализованные задачи. При этом предполагалось, что будут разработаны универсальные программные оболочки, способные путем несложных манипуляций с опросом знаний выявить основную суть знаний специалиста-эксперта и использовать их при решении реальных задач.

К сожалению, планировавшийся прорыв не произошел. Оказалось, что разработка ЭС трудна, занимает много времени (несколько человеко-лет), за которое может появиться новая ЭС, новые методы обработки информации, наконец, новая, несовместимая с прежней, операционная система.

В частности, длительный срок разработки ЭС обуславливается рядом факторов [1]:

1. Мощность ЭС обуславливается в первую очередь мощностью базы знаний и возможностью ее пополнения и только во вторую очередь - используемыми ею методами
2. Знания экспертов являются в основном эвристическими, экспериментальными, правдоподобными по причине неформализованности или слабой формализованности задач.
3. Знания экспертов зачастую носят индивидуальный характер.

Однако отсутствие быстрых результатов вовсе не означает отказа от концепции ЭС вообще. Наоборот, широкое применение информационных систем различного назначения ставит задачу интеллектуальной обработки данных. Совершенно необязательно, чтобы система громко называлась «интеллектуальной», важным является эффективное и разумное использование методов искусственного интеллекта (ИИ) и, в частности, методов ЭС для решения реальных задач.

Разработка ЭС медицинского назначения имеет давнюю историю. В [2] отмечено, что наибольшее число разработок ЭС приходится именно на область медицинских исследований. В частности, система ARAMIS обеспечивала оценку состояния и прогноз пациентов с ревматическими болезнями. Система Blue Box – была призвана помочь врачу при выборе подходящего лечения пациентов с диагнозом депрессия. ЭС Diagnoser обеспечивала помощь в диагностике застойной сердечной деятельности, в частности порока сердца. Система НЕМЕ обеспечивала диагностику заболеваний крови. Одной из наиболее развитых систем была ЭС INTERNIST/CADUCEUS, которая содержала описания профилей более 500 заболеваний и обеспечивала постановку диагнозов внутренних болезней на основе историй болезней, симптомов и результатов лабораторных исследований. Приведенные ЭС использовали различные модели представления знаний: правила, фреймы, семантические сети и использовали разнообразные методы статистического анализа.

Интересной областью применения медицинских ЭС является диагностика психиатрических заболеваний. Их диагностика, в особенности ранняя и предварительная, связана с проведением собеседования и не требует данных лабораторных и иных объективных исследований. Это позволяет ограничить функционирование ЭС проведением опроса пациента и на основе ответов больного определить перечень симптомов психиатрических заболеваний, на которые следует обратить внимание при дальнейших исследованиях, а также определить наиболее вероятные психиатрические синдромы.

При разработке ЭС в области психиатрии приходится учитывать, что умозаключение врача, содержащее комплексный диагноз психического заболевания, характеризуется многоплановостью и разносторонностью составляющих элементов.

Трудоемкость диагностической работы обусловлена тем, что для ее проведения врачу – психиатру необходимо: обладать всесторонними знаниями в области общей психопатологии и клиники психических заболеваний; удерживать в памяти колоссальную информацию о критериях клинической оценки симптомов и синдромов, особенностях, формах, типах течения всех психических заболеваний; уметь мгновенно восстанавливать в памяти любую нужную информацию и применять ее в каждом конкретном случае; иметь большой клинический опыт, способность аналитически мыслить, располагать знаниями в области смежных клинических дисциплин, высокой врачебной эрудицией. К сожалению, недостаточное использование информации в практической работе врачей – психиатров, а также врачей смежных специальностей приводит к снижению точности диагностики, эффективности лечения и в результате удлинняет сроки пребывания больных в стационаре и их нетрудоспособности.

Из вышесказанного можно сделать вывод о желательности привлечения в помощь практическому врачу наиболее современных технических и, в первую очередь, вычислительных средств, способных обеспечить обработку диагностической информации и принять на себя некоторые функции консультанта.

Обследование психически больных осуществляется по общепринятому в медицине принципу, который предполагает получение всех необходимых для диагностики болезни клинических и лабораторных данных. Клиническое обследование проводится по соответствующей схеме истории болезни [3].

Схема психиатрической истории болезни:

1. Первичный опрос:

- паспортные сведения;
- жалобы больного;
- сведения о больном от его родителей, родственников, сослуживцев и др. Сюда также включаются сведения о наследственности больного, условиях жизни и воспитания, поведения в коллективе, перенесенных на протяжении жизни заболеваниях и травмах, особенностях характера, трудовой деятельности, семейном положении, вредных привычках и др.;
- проверка “психического состояния” больного (контакт больного с врачом). Врач-психиатр задает вопросы пациенту, с помощью которых он может выявить первичные нарушения (симптомы) больного

2. Лабораторные исследования крови, мочи, спинномозговой жидкости, рентгеноскопия грудной клетки, рентгенография черепа, различных отделов позвоночника и др.

3. Экспериментально – психологические исследования: проведение всевозможных тестов (для проверки памяти, внимательности и т. п.).

4. Обоснование клинического диагноза, назначение и проведение лечения и реабилитационных мероприятий.

Анализ существующих медицинских экспертных систем показывает, что для обеспечения их качественного функционирования с концептуальной точки зрения необходимо удовлетворить ряд условий, а именно:

- обеспечить учет неформализованности медицинских знаний;
- обеспечить оценку субъективности ответов больных при диагностике заболеваний;
- обеспечить учет взаимных связей заболеваний и качественную их оценку;
- обеспечить оценку влияния каждого симптома на результат диагностики.

Существующие медицинские ЭС, такие как MYCIN, PUFF, BLUE BOX, HEADMED, SYXPERT, METHUSELAM имеют общие режимы работы, которые можно отобразить схемой, изображенной на рис. 1.

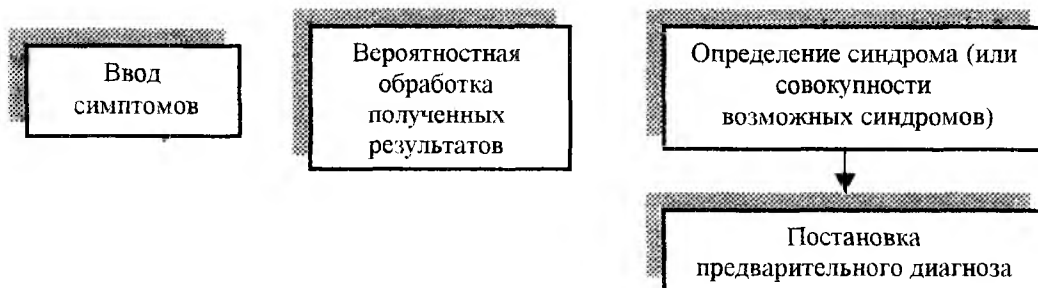


Рис. 1

Симптомы являются непосредственным проявлением болезни, первичными признаками патологического состояния организма. Симптом, с которого начинается диагностика психического заболевания, является в психиатрии клинической единицей первого порядка. В психиатрии симптом является фундаментом распознавания болезни, вне симптомов невозможна диагностика заболевания. Однако ограничиваться симптомами недостаточно. На пути к обоснованию конечного диагноза очередным этапом более сложного синтеза клинического знания о больном является группа симптомов, составляющая определенное единство – синдром. Синдром в таком случае является клинической единицей второго порядка. Эта закономерная связь отражает патогенетические механизмы болезни. Синдром, представляющий психический статус больного в данный момент, таким образом, непосредственно отражает патогенетические механизмы заболевания. В этом заключается его значение в познании сущности болезни.

Такое соотношение взаимных связей, при котором каждое психиатрическое заболевание (и заболевание вообще) или синдром заболевания можно описать набором симптомов, свидетельствует о применимости фреймовой модели. С точки зрения фреймовой модели каждое заболевание или синдром есть фрейм, состоящий из набора слотов – симптомов.

При таком подходе следует учитывать, что каждый симптом может проявляться в целой цепочке заболеваний, часто принадлежащих к различным классам. Более того, каждый отдельный симптом лишь с определенной степенью достоверности указывает на наличие расстройства. Например, наличие металлического вкуса во рту пациента может свидетельствовать об интоксикации свинцом, а с другой стороны – вкусовой псевдогаллюцинации. Таким образом, вывод о наличии расстройства можно сделать, лишь выявив ряд наиболее характерных симптомов. Практически – задать пациенту несколько вопросов, характеризующих (с разным уровнем достоверности) расстройство и соответствующие симптомы. При этом следует учитывать и коэффициент корректности постановки вопроса, характеризующий возможную двусмысленность. Условно, данный подход можно представить в следующем виде:

$$P_{\text{расстройства}} = k_{\text{cor}_1} * K_{\text{ответ\_вопроса}_1} + k_{\text{cor}_2} * K_{\text{ответ\_вопроса}_2} + k_{\text{cor}_3} * K_{\text{ответ\_вопроса}_3} + \dots \quad (1)$$

где  $P_{\text{расстройства}}$  - уровень достоверности наличия расстройства;

$k_{\text{cor}_1}$  - весовой коэффициент корректности вопроса;

$K_{\text{ответ\_вопроса}_1}$  - коэффициент, характеризующий ответ пациента (уровни подтверждения, полного и неполного отрицания).

Таблица

Название синдрома	Синдром N
Уровень расстройства 1	$K_1$
Уровень расстройства 3	$K_3$
.....	
Уровень расстройства M	$K_m$

Проведение полного опроса позволит выявить уровни достоверности наличия расстройств, что является основой для проведения анализа синдромов и отдельных заболеваний. Например, фрейм условного синдрома можно охарактеризовать следующим образом (табл.):

О наличии синдрома можно говорить при превышении пороговых табличных значений коэффициентов. Аналогично определению достоверности расстройства достоверность синдрома предлагается определить в таком виде:

$$P_{\text{синдром}_1} = k_{\text{симптом}_1} * K_1 + k_{\text{симптом}_2} * K_2 + k_{\text{симптом}_3} * K_3 + \dots \quad (2)$$

где  $P_{\text{синдром}_1}$  - уровень достоверности синдрома 1;  $k_{\text{симптом}_1}$  - весовой коэффициент симптома;  $K_1$  – вычисленный при помощи (1) коэффициент достоверности симптома 1.

Сложность указанного подхода, конечно, обуславливается необходимостью задания всего набора коэффициентов  $k_{\text{кор}_i}$ ,  $k_{\text{симптом}_i}$ , а также оценками  $K_{\text{ответ\_вопроса}_i}$  для каждого вопроса пациенту. Такая информация должна вводиться при непосредственном участии специалистов – психиатров. Ввод подобных данных является наиболее сложным аспектом любой ЭС.

Разрабатываемая программная оболочка экспертной системы психиатрической диагностики должна обеспечить:

- 1) занесение в БД пациента общей информации о больном;
- 2) создание БД вопросов для выявления симптомов с возможностью их корректировки, дополнения или удаления;
- 3) возможность фиксации вариантов ответа с последующим использованием их при расчете интегрального коэффициента, характеризующего симптом;
- 4) оценку полученных результатов (симптомов с интегральным коэффициентом) для выявления наиболее вероятного синдрома;
- 5) занесение полученного синдрома в БД пациента.

На рис. 2 представлена схема работы проектируемой экспертной компоненты диагностики психиатрических заболеваний.

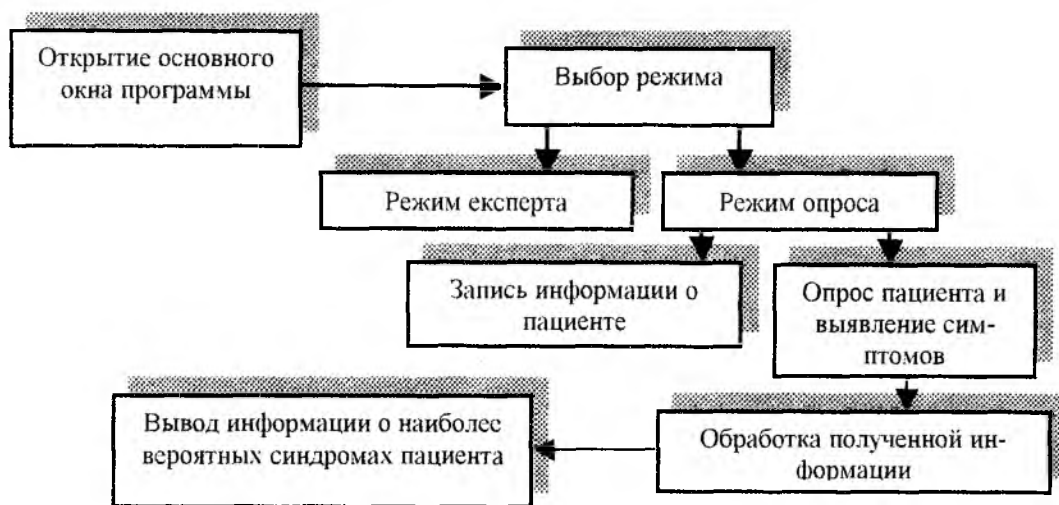


Рис. 2

Программное обеспечение оболочки экспертной системы реализовано в среде программирования Visual C++ 6.0. Хранение информации обеспечивается в файлах СУБД Ms Access. Для обеспечения доступа к ним используется программный интерфейс ODBC.

При реализации программного обеспечения программы был создан ряд классов, обеспечивающих работу главного и диалоговых окон программы, работу с базами данных, вывод необходимой диагностической информации. Общая схема классов программы приведена на рис. 3.

Как видно из схемы, особое место в программе занимают классы обработки баз данных (БД): БД симптомов, БД синдромов, БД пациентов. С точки зрения ЭС наибольшее значение имеют две первых.

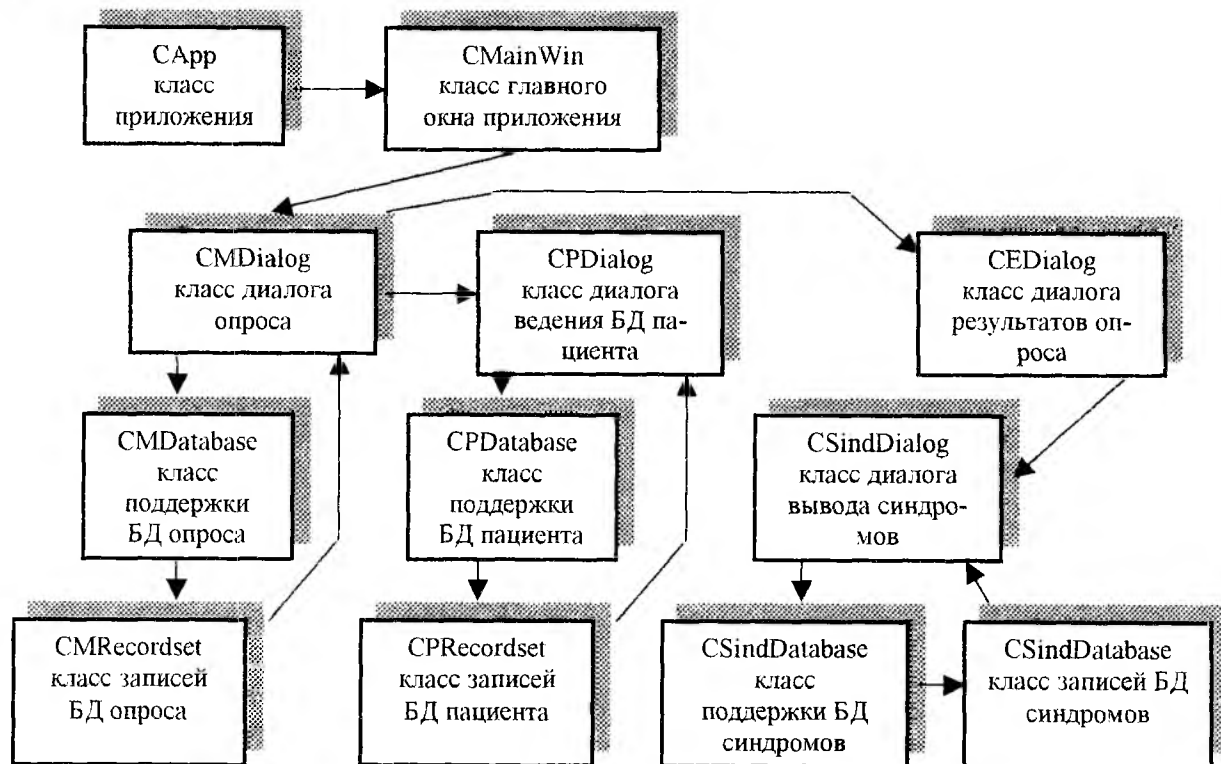


Рис. 3

База данных симптомов содержит вопросы пациенту, характеризующие симптом, коэффициенты положительного, отрицательного и неопределенного ответов пациента, характеризующее расстройство. Существующая версия БД содержит более 130 вопросов, характеризующих около 30 расстройств. Основным источником информации является [4]. Структура базы данных синдромов в основном соответствует схеме фрейма синдрома, описанной выше. Существующая версия программы поддерживает около 5 синдромов.

Рис. 4

Из меню главного окна программы осуществляется доступ к различным режимам ее функционирования. Таких режимов два: режим эксперта (реализован функцией OnOpen класса главного окна) и режим опроса пациента (реализован функцией OnQuestion).

В режиме работы эксперта, который изображен на рис. 4, производится заполнение базы данных экспертной информацией. Работа в таком режиме предполагает, что каждое диалоговое окно содержит отдельный вопрос пациенту, на который пациент может ответить утвердительно (кнопка «Да»), отрицательно (кнопка «Нет») и неопределенно (кнопка «Ино-

гда»). С точки зрения симптома конкретного заболевания эксперт должен установить соответствие вопроса пациенту конкретному расстройству (от 0 до 10). Смысл этого заключается в том, что каждый вопрос пациенту может соответствовать нескольким симптомам одновременно и может в различной степени характеризовать симптом. Например, наличие постоянных головных болей может свидетельствовать как о высоком артериальном давлении, так и о неврологических расстройствах, а в комплексе с другими симптомами – и о психических заболеваниях. Таким образом, необходимо указать, в какой степени ответ пациента соответствует расстройству.

Пользователю в режиме эксперта предоставляется возможность навигации по БД симптомов (кнопки «Начало БД», «Конец БД», «След. вопрос», «Пред. вопрос») и функции редактирования БД: удаление и добавление записей.

В режиме опроса пациентов осуществляется заполнение базы данных информацией о пациенте.

Диалоговое окно заполнения информацией о пациенте обеспечивается классом CPDialog. Работа с базой данных пациентов – классами CPDatabase и CPRecordset.

После занесения информации о пациенте активируется диалоговое окно опроса пациента. Оно имеет внешний вид, аналогичный окну заполнения базы данных в режиме эксперта (используется тот же класс CMDialog). Отличие заключается в невозможности редактирования записей, их добавления и удаления. Кнопки навигации отключены. Перемещение по БД реализовано опросом пациента. Нажатие на одну из кнопок «Да», «Нет», «Иногда» означает фиксирование ответа пациента и запись информации об ответе. По окончании опроса появляется сообщение «Опрос закончен» и появляется кнопка «Вывод результатов». Общий вид диалогового окна опроса пациента показан на рис. 5.

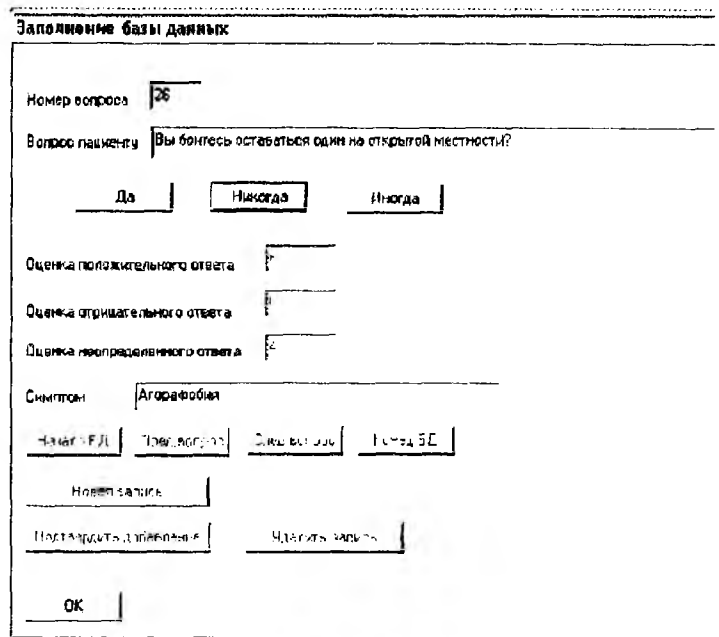


Рис. 5

По нажатию кнопки «Вывод результатов» происходит открытие нового диалогового окна (обеспечивается классом CEDialog). Пример вывода результатов приведен на рис. 6.

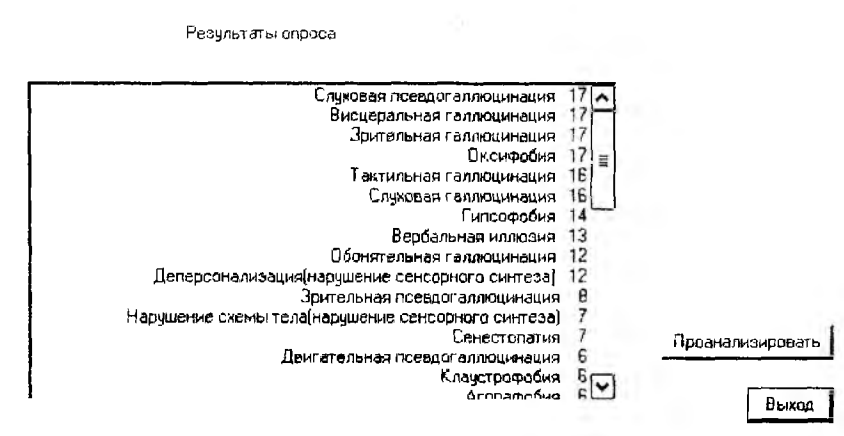


Рис. 6

Результаты опроса показывают частоту положительных и неопределенных ответов пациента на поставленные ему вопросы

Нажатие кнопки «Проанализировать» будет означать вывод информации о выявленных на основе опроса синдромах. Вывод информации о синдромах обеспечивается классом CSindDialog(). Внешний вид фрагмента окна вывода показан на рис. 7.

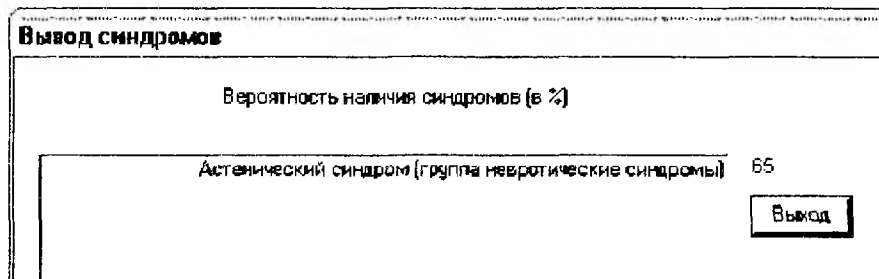


Рис. 7

Таким образом, в результате исследований разработана программная оболочка экспертной системы для диагностики психиатрических заболеваний. Программная оболочка использует базы данных, содержащие информацию о психических расстройствах и синдромах. Оценка достоверности определения расстройств и синдромов определяется при помощи системы весовых коэффициентов. Реальное использование экспертной системы возможно при окончательном заполнении базы данных весовыми коэффициентами, что можно обеспечить привлечением специалистов-психиатров.

Материалы исследований использованы в дипломном проекте студентки Сомовой Т.А. (группа ГКСР-99-1, ХНУРЭ, выпуск 2004 года).

**Список литературы:** 1. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. М.: Наука, 1987. 288 с. 2. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 388 с. 3. Методические указания к практическим занятиям по общей психопатологии для студентов лечебного факультета. Харьков: Харьк. Мед. ин-т, 1985. 44 с. 4. Сметанников П.Г. Психиатрия: Руководство для врачей. СПб.: СПбМАПО, 1997. 632 с.

Поступила в редколлегию 13.01.2004

УДК 519.7

А.Э. ГУРЬЕВ, В.А. ЧИКИНА

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОМОНИМОВ НА МАТЕРИАЛЕ РУССКОГО ЯЗЫКА

## Введение

Формализация лингвистических аспектов естественного языка в связи с компьютеризацией человеческой деятельности – важная и актуальная задача. Эффективная и адекватная автоматическая обработка письменных текстов естественного языка во многом зависит от «понимания» одинаковых форм слова (омонимов), имеющих разное значение. Этимология этих процессов различна. Для сравнительно простых задач, связанных с подсчетом частот слов, равно как и для всех задач «понимания» естественно-языковых текстов необходим, в качестве одного из первых этапов, машинный морфологический анализ. Последний затрудняется наличием большого числа омонимов.

**Постановка задачи:** различение омонимов на всей совокупности омонимов определенного вида с учетом разработки формальных методов, не использующих понятие смысла.

## Формализация процессов омонимии

Предложим классификацию омонимов русского языка для письменной формы. Под омонимами будем понимать те слова, которые пишутся одинаково и более точно называются омографами. В случае омонимов мы имеем две (иногда больше) одинаковые формы с разными значениями, например, *мир* (не война) и *мир* (свет, вселенная). Эти слова разного происхождения, что, в частности, подтверждается их дореволюционным написанием *миръ* и *миръ*. Но одно и то же слово может приобретать разные значения в результате развития языка и разветвления значений. Так, значения слова *рукав* в комбинациях *пожарный рукав*, *рукав реки* и *ель рукавом мне дорожку завесила* (Ф. Тютчев) – различны. Поэтому граница между омонимами довольно зыбка и служит предметом дискуссий в лингвистике. Будем считать омонимами слова разной этимологии или слова, разделение значений которых зашло так далеко, что они попали в разные части речи, как *руля* (деепричастие от *рулит* или родительный падеж от *руль*), или состоят из разных морфем, как *чугунка* (железная дорога) и родительный падеж от *чугунок*.

Как и во всяком флективном языке, в русском языке слово реализуется в речи посредством своих словоформ. Аналогичная ситуация имеет место и на низших уровнях языка: так на уровне словообразования выделяются морфы, реализующиеся морфемами, а на фонетическом уровне – фонемы, реализующиеся фонами (аллофонами). Так, слово «стол» является в сущности множеством:

$$\text{стол} = \{\text{стол, стола, столу, столом, столе, \dots, столах}\}.$$

Одна из этих форм – *стол* – принята в качестве канонической и употребляется для называния абстрактного слова. Омонимия есть совпадение по форме разных слов, но если понимать под словом множество словоформ, то надо определиться, какие именно элементы множеств должны совпасть, чтобы появились омонимы. Здесь можно выделить три случая.

1. Словоформы одного множества полностью совпадают со словоформами другого множества. Например, *мир-1* (в смысле «свет», «вселенная») и *мир-2* (в смысле «не война»). В этом случае становится зыбкой граница между омонимией и полисемией. В качестве различения этих двух явлений некоторые лингвисты предлагали использовать этимологию слова: если этимология общая – то полисемия, если нет – омонимия (*мир-1* и *мир-2* – бесспорные омонимы: до 1917 г. они писались *миръ* и *миръ* соответственно).

2. Два множества словоформ не совпадают, но пересечение их не пусто. Например, *слива* и *сливать*, которые имеют общий элемент «слив»: родительный падеж множественного числа и деепричастие прошедшего времени соответственно (мы традиционно относим деепричастие к глаголу и считаем, что каноническая форма глагола задается инфинитивом).

3. Во множестве словоформ, реализующих одно слово, имеются одинаковые элементы.

Например, словоформа *пути* от *путь* – это родительный (и дательный, и предложный) падеж единственного числа, а также именительный (и винительный) падеж множественного числа.

Будем называть описанные омонимы омонимами первого, второго и третьего родов соответственно.

Что касается степени проработанности вопроса описания омонимов в литературе, то, к примеру, в лексикографии принята ограничительная традиция учитывать омонимы в случае, если у разных слов совпадают канонические формы. Таков, например, словарь [1, 2], где описано около 2000 омонимов. При указанном способе отбора в словарь попадают все омонимы первого рода и малая доля омонимов второго рода, поскольку вероятность того, что совпадут именно канонические словоформы, мала. Например, в словарь попадут омонимы *простой* (существительное) и *простой* (прилагательное), но императив *простой* от *просто-ять* в словарь не попадет. Омонимов третьего рода в традиционных словарях нет, но они негласно учитываются в морфологии. В пособиях по морфологии [3] перечислены все типичные парадигмы и, если в них есть совпадающие окончания, то у слова, имеющего данную парадигму, имеются омонимы третьего рода. В наихудшем положении оказываются омонимы второго рода, которые почти все нигде не учтены.

Между тем их учет, изучение и машинное различение очень важно для машинного синтаксического анализа предложений. Если в анализируемом предложении попадают несколько омонимов второго и/или третьего рода, то возникает комбинаторно большое число разных вариантов, наличие которых затрудняет или вообще делает реально невозможным машинный синтаксический анализ. Заметим, что наличие омонимов первого рода машинному синтаксическому анализу не мешает. Вообще машинное различение омонимов, какого бы рода они ни были, полезно при любой машинной обработке естественного языка, целью которой является какое бы то ни было «понимание» смысла языкового сообщения.

Омонимы первого рода могут быть различимы формально, например, по сочетаемости с другими словами в контексте, хотя это – очень громоздкий и трудный путь. Программа, которая, обнаружив фрагмент «*мир на земле*», определит, что здесь имеется в виду *мир-2*, вполне реальна. Однако надежнее более простые методы, основанные на морфологическом и синтаксическом анализе. При таком подходе определяются наборы морфологических категорий для разных вариантов интерпретации слова. Скажем, при анализе словоформы «*слив*» есть три варианта в терминах морфологических категорий: существительное, именительный падеж, единственное число; существительное, родительный падеж, единственное число; глагол, деепричастие, прошедшее время. Если путем локального морфолого-синтаксического анализа удастся установить или опровергнуть хоть одну из различающих эти наборы морфологических категорий, то возможно будет сделать выбор между тремя перечисленными вариантами. Для решения проблемы отнесения слова к определенной части речи используются также такие эвристические алгоритмы как применение связок предлог-прилагательное и предлог-существительное, местоимение-прилагательное или местоимение-существительное.

Для морфологического анализа был использован следующий алгоритм: Текст-> Извлечение словоформы -> Отделение предполагаемого окончания -> Создание списка предполагаемых основ -> Перевод в каноническую форму -> Статистический анализ списка -> Выделение терминов. Программа морфологического анализа основана на схеме: Список основ (все основы, существующие в разных словоформах) – Код соответствия (число, указывающее, какая из основ используется для окончания) – Набор окончаний (пронумерованный список окончаний).

Создана программная система автоматического распознавания текста на уровне словоформы, которая реализует в себе: алгоритмы для аналитической обработки текстов; структуры данных для хранения необходимой информации, такие как базы данных; системную модель построения глоссария и выделения общенаучных терминов. В качестве средств реализации была выбрана программная среда Borland C++Builder 5, имеющая мощные и эффек-

тивные средства для работы с базами данных и позволяет использовать технологию RAD (Rapid Application Development) для быстрого создания приложений с необходимым визуальным интерфейсом.

В процессе создания системы автоматической обработки текстов были поэтапно реализованы следующие задачи:

1. Реализована системная модель хранения словарной и грамматической информации: каждая из парадигм представлена связанными наборами основ и окончаний; обеспечена возможность работы с большими объёмами данных (до 1000 парадигм и до 100000 словоформ); используется реляционная база данных, состоящая из нескольких таблиц: Связи, Основы, Парадигмы, Окончания, Слова-признаки, Коды признаков.

2. Создан комплексный метод обработки словарной и графической информации: обеспечен доступ к базе данных со словарной и грамматической информацией, осуществляется пополнение, выборка и расшифровка хранимой информации; организованы эффективная скорость доступа к информации и использование системных ресурсов.

3. Разработаны алгоритм и программа построения глоссария: выделение из текста слов-терминов и словосочетаний для составления и пополнения глоссария; накопление информации о терминах, которые должны быть исключены из глоссария.

Омонимы второго рода – все те омонимы, которые не вошли в следующие типы:

- омонимы, морфологические категории которых идентичны. Например, *pluralia tantum часы* отличается от слова *час* тем, что не имеет словоформ единственного числа, но омонимические словоформы морфологически неразличимы. Таких омонимов много среди глаголов, например, *унижу* от *униживать* и *унижать*.

- ненамеренно пропущенные.

Омонимические формы второго рода могут быть перечислены по алфавиту. В каждой статье для омонимов следует указывать словоформу и перечислять ее морфологические категории, по одному набору от каждого слова. Например, *покрывало* описывается как существительное среднего рода именительного падежа и глагол прошедшего времени единственного числа среднего рода от *покрывать*. Но имеются омонимичные словоформы, такие как *покрывал* и *покрывала*. Типичная статья задает омоним, после чего строчными буквами приводится перечень значений морфологических категорий омонима-1 и в скобках заглавными буквами стоит каноническая форма слова. Например:

*проруби*: сущ., жен., мн., им. (ПРОРУБЬ) / имп. (ПРОРУБИТЬ)

Заметим, что здесь не указано, что эта словоформа повторяется в родительном, дательном и предложном падежах единственного числа и в именительном и винительном множественного числа, так как это - омонимы третьего рода. Далее в статье через косую черту следует набор грамматических категорий омонима - 2 и его каноническая форма: *проруби*: сущ., жен., мн., им. (ПРОРУБЬ) / имп. (ПРОРУБИТЬ)

Бывает, что перечисляется больше двух омонимов. Если значения морфологических категорий показывают, что словоформа - каноническая, то она в скобках не повторяется, например: *ПРОПИЛ*: сущ., муж., ед., им. / гл., прош., ед., м. (ПРОПИТЬ)

Бывает, что пересечение множеств словоформ насчитывает больше одного элемента. Тогда подробно описывается один, а остальные просто перечисляются после слова "также". Например, ниже строки *протила* ... будет приписано: также: *протила*

Иногда после редкого слова в квадратных скобках дается намек на его смысл, например, *чекари*, сущ, несклон. [животное].

В числе морфологических категорий указывается часть речи. Применяемая классификация не совсем совпадает с традиционной: глагол – глагол, личная форма, существительное – существительные и местоимения-существительные; прилагательное – прилагательные, местоимения-прилагательные, причастия, порядковые числительные и количественное числительное «один»; наречие – наречия, местоименные наречия и собирательные числительные;

инфинитив – инфинитивы глагола; деепричастие – деепричастия; предлог – предлоги; числительное – количественные числительные, кроме «один»; частица – прочие неизменяемые слова.

Словари омонимов способствуют разработке машинных, не использующих понятие смысла методов различения омонимов. Дело в том, что почти в любых задачах, относящихся к машинной обработке естественного языка, нужно уметь анализировать синтаксическую структуру предложения. Синтаксический анализ предложения опирается на данные предварительного морфологического анализа слов. Если слово является омонимом второго или третьего рода, то в алгоритме синтаксического анализа появляется ветвление вариантов, а если в предложении омонимов второго или третьего рода несколько (что бывает весьма часто), то число возможных вариантов стремительно растет, и синтаксический анализ становится невозможным.

Для борьбы с этой трудностью приходится разрабатывать промежуточный между морфологическим и синтаксическим - постморфологический анализ, а для его разработки и совершенствования необходимо подготовить корпус омонимов второго рода. Кроме того, в задачах, требующих машинного "понимания" смысла, или в машинном переводе нужно понимать, который из омонимов стоит в обрабатываемой части текста. Изучающему русский язык омонимы второго рода помогают постигнуть некоторые тонкости. Омонимы второго рода для русского языка классифицированы за вычетом пяти классов слов, перечисленных ниже.

1. Омонимы, которые имеют в точности одинаковые значения грамматических категорий, насколько их можно определить машинно, без привлечения смысла, то есть неразличимы на уровне морфологии. Такова, например, словоформа *часами* - 1 от *час* и *часами* - 2 от *часы*. Машинный морфологический анализ относит оба слова к существительным в дательном падеже множественного числа. То различие, что *часами* - 2 относится *pluralia tantum*, машина не улавливает. Еще примеры; *копий* - 1 от *копье* и *копий* - 2 от *копия*. Оба омонима относятся к существительным родительного падежа множественного числа: правда *копье* и *копия* различаются по роду, но во множественном числе род в русском языке формально не различим. Аналогичный случай возникает при омонимах *оплачу от оплатит* и *оплачу от оплакивать*. Заметим, что, поскольку мы рассматриваем графическую форму, слова с разными ударениями считаются омонимами.

2. Три большие регулярные серии омонимов второго рода;

а) название специальности и специалиста (в родительном падеже), такие как *акустика*, *математика*, *физика* и т.п.;

б) компаратив прилагательного или наречия, такие как *хуже* (от *плохой* и *плохо*), *горячей* (от *горячий* и *горячо*) и т.п.;

в) субстантивизированные прилагательные, такие как *горючее* или *легкое* (как существительное или прилагательное).

3. Слова, где один из омонимов является, именем собственным, например, "*Валю*" от имени *Валя* и "*валю*" от глагола *валить*. Решение не включать такие слова принято из-за трудной обозримости всевозможных собственных имен.

4. Слова, где один из омонимов является аббревиатурой, по причине неуниверсальной известности и большой изменчивости аббревиатур. Несколько исключений сделано только для аббревиатур, прочно вошедших в язык, как, например, *ваз* (машина Волжского автозавода) и *ваз* от *ваза*.

5. Омонимы, которые авторами ненамеренно пропущены.

Всего выявлено около тысячи омонимов второго рода при счете на слова и около двух тысяч - при счете на словоформы [4].

## Выводы

Предложена классификация омонимов и показано, что омонимы первого рода без семантического анализа неразличимы, омонимы третьего рода сравнительно легко определяются

по словоизменительным парадигмам, и, наконец, омонимы второго рода часто различимы посредством упрощенного (постморфологического) анализа. Однако, чтобы его применять, надо знать, что анализируемая словоформа имеет омонимы второго рода. Приводится фактический материал, необходимый при разработке машинных методов синтаксического анализа текстов.

Формализация различения омонимии для письменных текстов русского языка позволит реализовать решение практических задач в области создания программных систем для автоматической обработки текстов, автоматического построения специализированных словарей, глоссариев, компьютерного реферирования, программ обработки естественного языка для Интернет, программ сортировки библиографической информации и т.п.

**Список литературы:** 1. Ахманова О.С. Словарь омонимов русского языка. Изд. 3. – М.: Русский язык, 1974. – 448 с. 2. Колесников Н.П. Словарь омонимов русского языка. – Изд-во Феникс, Ростов-на-Дону, 1995. - 671с. 3. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка. М.: Русский язык, 1980 - 879 с. 4. В.И. Рублинецкий, В.А. Чикина. Словарь омонимов русского языка. Учебн. пособ. Харьков: ХНУРЭ, 2002.-110 с.

*Поступила в редколлегию 02.04.2004*

УДК 519.876.5:616.71-001.5

А.И. БЫХ, М.Ю.КАРПИНСКИЙ, А.Ф.СУШКО

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЕНСАТОРНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

### Введение

Одним из немногих аппаратных методов диагностики состояния опорно-двигательного аппарата человека является статография (регистрация перемещений проекции общего центра масс (ОЦМ) пациента на плоскости опоры). Устройства для реализации данного метода довольно просты, и, хотя за свою более чем столетнюю историю прошли путь от рычажных весов до компьютерных систем, основу их по-прежнему составляют все те же весоизмерительные платформы. Всплески интереса к статографии совпадают, в основном, с этапами научно-технической революции: в 50-годы это было вызвано появлением транзисторов и развитием электроники, в конце 90-х – бурным развитием компьютерных технологий. Однако, несмотря на всю простоту, метод не получил массового развития. Устройства не выпускались серийно, в клинических условиях метод применялся отдельными энтузиастами, в основном в научно-исследовательских центрах. В настоящее время нет единого мнения о значениях статографических показателей, характеризующих здорового человека, поэтому терпят неудачи и попытки выявить диагностические признаки для отдельных заболеваний. В практике работы лаборатории биомеханики Института патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко нередки случаи, когда больные с тяжелыми деформациями позвоночника демонстрируют результаты практически не отличающиеся от показателей здоровых людей, что говорит о широких компенсаторных возможностях организма. На наш взгляд, именно это обстоятельство очень быстро охлаждает энтузиазм многих приверженцев данного метода и вызывает его подъем с появлением каких-то новых технических возможностей.

**Цель работы:** На математической модели проанализировать компенсаторные возможности опорно-двигательного аппарата человека при поддержании вертикальной позы.

### Результаты исследования

#### 1 Определение координат проекции общего центра масс

Классическая конструкция статографа (рис. 1) представляет собой платформу, установленную на 4-х тензодатчиках.

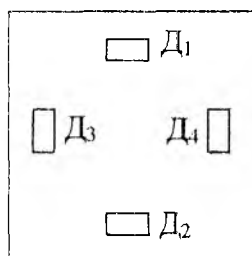


Рис. 1. Схема расположения датчиков под стабилиграфической платформой,  $D_1$ –  $D_4$  - тензодатчики

Координаты центра масс  $X_c$ ,  $Y_c$  определяются следующим образом:

$$X_c = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}, \quad Y_c = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + P_3 Y_3 + P_4 Y_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4},$$

где  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – силы давления на платформу;

$X_1, X_2, X_3, X_4$  – абсциссы точек приложения сил  $P_1, P_2, P_3, P_4$ ;

$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  – ординаты точек приложения сил  $P_1, P_2, P_3, P_4$ .

## 2 Математическая модель системы определения координат проекции ОЦМ

Перейдем от физического пространства:

$$P_1, P_2, P_3, P_4;$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4;$$

$$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4;$$

$$X_c, Y_c$$

к аналитическому пространству:

$$P_1, P_2, P_3, P_4 \equiv a_1, a_2, a_3, a_4;$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \equiv x_1, x_2, x_3, x_4;$$

$$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 \equiv y_1, y_2, y_3, y_4;$$

$$X_c, Y_c \equiv u, v.$$

Представим функцию состояния точек в многомерном (4-мерном) пространстве:

$$u = \frac{a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}, \quad v = \frac{a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 + a_4 y_4}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}$$

В дальнейшем от 4-мерного пространства можно перейти к n-мерному.

### 3. Идемпотизм функции.

Рассмотрим функцию  $u$  положения проекции общего центра масс:

$$u = \frac{ax + by + cz}{a + b + c},$$

где,  $a, b, c$  – параметры функции  $u$ ;

$x, y, z$  – переменные функции  $u$  или аргументы.

Нормированные значения параметров:  $a^0, b^0, c^0$ .

Деформированные (искаженные) значения параметров функции:  $a^{\sim}, b^{\sim}, c^{\sim}$ , где

$$a^{\sim} = a^0 + \Delta a; \quad b^{\sim} = b^0 + \Delta b; \quad c^{\sim} = c^0 + \Delta c.$$

Не будем ограничивать вариацию параметров:

$$-\infty \leq \Delta a \leq +\infty; \quad -\infty \leq \Delta b \leq +\infty; \quad -\infty \leq \Delta c \leq +\infty.$$

Нормированное значение функции –  $u^0$

$$u^0 = \frac{a^0 x + b^0 y + c^0 z}{a^0 + b^0 + c^0}.$$

Деформированное значение функции

$$u^{\sim} = \frac{a^{\sim} x + b^{\sim} y + c^{\sim} z}{a^{\sim} + b^{\sim} + c^{\sim}}.$$

Найдем  $u$  :

$$u^{\sim} = \frac{(a^0 + \Delta a)x + (b^0 + \Delta b)y + (c^0 + \Delta c)z}{(a^0 + \Delta a) + (b^0 + \Delta b) + (c^0 + \Delta c)}.$$

Потребуем тождественности (идемпизма) функции  $u^{\sim} = u^0$

$$\frac{(a^0 + \Delta a)x + (b^0 + \Delta b)y + (c^0 + \Delta c)z}{(a^0 + \Delta a) + (b^0 + \Delta b) + (c^0 + \Delta c)} = \frac{a^0 x + b^0 y + c^0 z}{a^0 + b^0 + c^0}.$$

Для упрощения записи положим

$$\Lambda a = a; \Lambda b = b; \Lambda c = c.$$

Так как величины  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  не ограничены, тогда:

$$\frac{(a^0 + a)x + (b^0 + b)y + (c^0 + c)z}{(a^0 + a) + (b^0 + b) + (c^0 + c)} = \frac{a^0 x + b^0 y + c^0 z}{a^0 + b^0 + c^0}.$$

После преобразования данного тождества получим:

$$(x-y)b^0(a^0 + a) + (y-x)a^0(b^0 + b) + (x-z)c^0(a^0 + a) + (z-x)a^0(c^0 + c) + (y-z)c^0(b^0 + b) + (z-y)b^0(c^0 + c) = 0.$$

После обобщения получим уравнение:

$$(x-y)(b^0 a - a^0 b) + (x-z)(c^0 a - a^0 c) + (y-z)(c^0 b - b^0 c) = 0.$$

Разделим переменные  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . После преобразования получим:

$$[(ab^0 - a^0 b) + (ac^0 - a^0 c)]x + [(bc^0 - b^0 c) + (ba^0 - b^0 a)]y + [(ca^0 - c^0 a) + (cb^0 - c^0 b)]z = 0. \quad (1)$$

Мы получили уравнение (1) особой поверхности. Прежде, чем заняться анализом этого уравнения введем некоторые понятия.

Исходно мы имеем функцию  $u$ , определенную для переменных, будем говорить – определенную на векторе переменных  $\bar{s}(x, y, z)$  и векторе параметров, то есть

$$u = u(x, y, z; a, b, c).$$

При классическом определении функции:

- 1) аргументы функции  $(x, y, z)$  – величины переменные;
- 2) параметры функции  $(a, b, c)$  – величины постоянные.

Мы расконсервировали параметры и сделали их переменными, зафиксировав в параметрическом пространстве точку  $(a^0, b^0, c^0)$ . Это нормированная точка, которая определяется вектором параметров  $\bar{\rho}^0(a^0, b^0, c^0)$ . Вариацию параметров определяем переменными параметрами  $(a, b, c)$  –  $\bar{\rho}(a, b, c)$ .

Таким образом, мы имеем следующие пространства:

- 1) пространство переменных (аргументов) –  $\bar{s}(x, y, z)$ ;
- 2) пространство переменных параметров –  $\bar{\rho}(a, b, c)$  с фиксированной точкой  $\bar{\rho}^0(a^0, b^0, c^0)$ .

Следовательно, мы вывели два пространства:

- 1) пространство исходных переменных – пространство аргументов, определяемых вектором  $\bar{s}(x, y, z)$ ;
- 2) пространство расконсервированных параметров, определяемых вектором  $\bar{\rho}(a, b, c)$ .

Для компактности изложения назовем вектор переменных параметров  $\bar{\rho}(a, b, c)$  вектором вариаций.

Теперь обобщим вышеизложенное. Функция  $u = u(x, y, z, a, b, c)$  определена в некотором пространстве, где вектор аргументов  $\bar{s}(x, y, z)$  и вектор вариаций  $\bar{\rho}(a, b, c)$  полностью определяют функцию  $u = u(\bar{s}, \bar{\rho})$ .

Так как вектор вариаций имеет переменные компоненты  $a, b, c$ , то обозначим их через  $X, Y, Z$ , т.е.  $X=a, Y=b, Z=c$  или же  $\bar{\rho}(X, Y, Z)$ . Для функции  $u$  можно записать:

$$u(\bar{s}, \bar{\rho}) = u(x, y, z; X, Y, Z).$$

После введения изложенных выше понятий и определений рассмотрим полученное ранее уравнение (1). Введем в это уравнение вектор вариаций  $\bar{\rho}(X, Y, Z)$  и вектор нормированных вариаций  $\bar{\rho}^0(X^0, Y^0, Z^0)$ :

$$a, b, c \equiv X, Y, Z; \quad a^0, b^0, c^0 \equiv X^0, Y^0, Z^0,$$

после чего получим:

$$\left[ (XY^0 - X^0Y) + (XZ^0 - X^0Z) \right] x + \left[ (YX^0 - Y^0X) + (YZ^0 - Y^0Z) \right] y + \left[ (ZX^0 - Z^0X) + (ZY^0 - Z^0Y) \right] z = 0.$$

Это уравнение было получено следующим образом. Сначала было найдено значение функции  $u$  для нормированного вектора вариаций  $\bar{\rho}^0(a^0, b^0, c^0)$

$$u^0 = u(x, y, z; X^0, Y^0, Z^0),$$

затем было найдено значение функции  $u$  для деформированного вектора вариаций  $\bar{\rho}^-(X^-, Y^-, Z^-)$ :

$$u^- = u(x, y, z; X^-, Y^-, Z^-),$$

где  $X^- = X^0 + X$ ,  $Y^- = Y^0 + Y$ ,  $Z^- = Z^0 + Z$ .

И далее мы потребовали, чтобы деформированное значение функции  $u^-$  было таким же, как и нормированное значение  $u^0$ , т.е.

$$u(x, y, z; X^-, Y^-, Z^-) = u(x, y, z; X^0 + X, Y^0 + Y, Z^0 + Z),$$

следовательно

$$\Delta u = u(x, y, z; X^-, Y^-, Z^-) - u(x, y, z; X^0, Y^0, Z^0) = 0.$$

Таким образом, мы потребовали, чтобы деформированное значение функции было идемпотичным (тем же самым) нормированному значению функции.

Получим уравнение:

$$u(x, y, z; X^-, Y^-, Z^-) - u(x, y, z; X^0, Y^0, Z^0) = 0,$$

называемое уравнением идемпотической поверхности, которая обладает следующим свойством: если вектор вариаций  $\bar{\rho}^-(a^-, b^-, c^-)$  находится на идемпотической поверхности, то нормированное значение функции будет равно деформированному значению:

$$u^0(x, y, z; X^0, Y^0, Z^0) = u^-(x, y, z; X^-, Y^-, Z^-).$$

Сформулированное положение и представляет собой принцип идемизма.

На рис. 2 показана идемпотическая поверхность  $\Pi_{id}$  с нормированной точкой  $(X^0, Y^0, Z^0)$ . В результате деформации (искажения) точка уходит с идемпотической поверхности и смещается в положение  $(X^-, Y^-, Z^-)$ . Функция оценки состояния также изменилась:

$$u^0 \neq u^-.$$

Проводим идемизацию точки  $(X^-, Y^-, Z^-)$  – находим вектор коррекции  $\bar{\Delta\rho}$  и возвращаем ее на идемпотическую поверхность:

$$X^-, Y^-, Z^- \rightarrow X^*, Y^*, Z^*.$$

Функция состояния системы нормализуется:

$$u \rightarrow u^*(x, y, z, X^*, Y^*, Z^*) = u^0; \quad u^{(1)} = u(x, y, z, X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)})$$

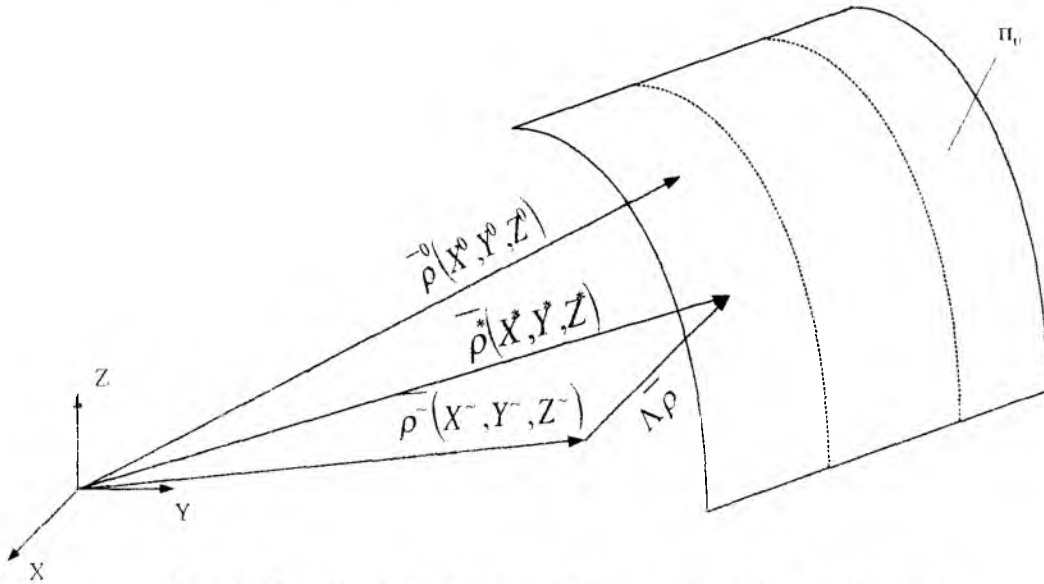


Рис. 2. Графическое представление принципа идемизма

### Выводы

1. Функция положения проекции общего центра масс человека на плоскости опоры представляет собой некую идемическую поверхность и имеет бесконечное множество решений.
2. Изменение одного или нескольких параметров функции не ведет к необратимым последствиям, а может быть легко компенсировано незначительными изменениями других. При этом система не обязательно должна вернуться в исходную рабочую точку, а может выходить "кратчайшим путем" на любую другую точку на идемической поверхности, где функция имеет решение.
3. При диагностике состояния опорно-двигательной системы методом статографии регистрации только положения проекции ОЦМ, как общего решения функции равновесия, недостаточно. Необходима регистрация дополнительных параметров.
4. Разработанная нами модель может объяснять "скрытые" периоды в течении многих заболеваний и компенсаторно-приспособительные реакции, позволяющие реализовать двигательные функции при тяжелых поражениях опорно-двигательной системы.

**Список литературы:** Сушко А. Ф. Об одном подходе к построению моделей иммунитета технических систем // Контроль и управление в сложных системах: Материалы междунар. науч.-техн. конф. Винница. 1999. Т. 1. С. 72-77.

Поступила в редколлегию 05.04.2004

## АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Бондаренко Михаил Федорович – д-р техн. наук, проф., ректор, Харьковский национальный университет радиозлектроники (ХНУРЭ)
- Булавин Дмитрий Алексеевич – аспирант, ХНУРЭ
- Бых Анатолий Иванович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой Биомедицинской электроники (БМЭ), ХНУРЭ
- Варфоломеева Илона Владимировна – аспирант, Харьковский национальный аэрокосмический университет
- Винокурова Елена Анатольевна – аспирант, ХНУРЭ
- Водолажский Алексей Сергеевич – аспирант, ХНУРЭ
- Выродов Александр Павлович – аспирант, ХНУРЭ
- Высоцкая Елена Владимировна – канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. БМЭ, ХНУРЭ
- Газимов Руслан Тахирович – магистрант, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта (ДГИИИ)
- Гурьев Андрей Эдуардович – студент, ХНУРЭ
- Дибривный Максим Викторович – аспирант, Институт проблем искусственного интеллекта г. Донецк
- Дюбко Геннадий Федорович – канд. техн. наук, проф., каф. Программного обеспечения ЭВМ (ПО ЭВМ), ХНУРЭ
- Ерохин Андрей Леонидович – канд. техн. наук, доц. каф. ПО ЭВМ, ХНУРЭ
- Карпинский Михаил Юрьевич – науч. сотр. лаборатории биомеханики института патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И.Ситенко АМНУ
- Каук Виктор Иванович – канд. техн. наук, доц. каф. ПО ЭВМ ХНУРЭ
- Кобылин Олег Анатольевич – инженер ИВЦ, аспирант, ХНУРЭ
- Коряк Алексей Сергеевич – аспирант, ХНУРЭ
- Криводубский Олег Александрович – канд. техн. наук, проф. каф. Программного обеспечения интеллектуальных систем, ДГИИИ
- Крутько Максим Андреевич – науч. сотр., ДГИИИ
- Ламонова Наталья Сергеевна – ст. науч. сотр. ПНИЛ АСУ, ХНУРЭ
- Лесная Наталья Советовна – канд. техн. наук, проф. каф. ПО ЭВМ, проректор по учебной работе, ХНУРЭ
- Лещинская Елена Леонидовна – стажер-исследователь каф. ПО ЭВМ, ХНУРЭ
- Омельченко Сергей Васильевич – ассистент каф. систем связи, ХНУРЭ
- Петров Константин Эдуардович – канд. техн. наук, ст. преп., Харьковский национальный университет внутренних дел.
- Петров Эдуард Георгиевич – д-р техн. наук, проф. каф. системотехники, ХНУРЭ
- Плисс Ирина Павловна – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. ПНИЛ АСУ, ХНУРЭ
- Поливцев Сергей Александрович – докторант, ДГИИИ
- Порван Андрей Павлович – инженер каф. БМЭ, ХНУРЭ
- Преснякова Виктория Викторовна – нач. лаборатории ИВЦ, Харьковский военный университет
- Самура Борис Андреевич – д-р мед. наук, академик АМН Украины, проф. каф. фармакотерапии, Харьковский национальный фармацевтический университет (ХНФУ)
- Самура Борис Борисович – канд. мед. наук, доц. каф. фармакотерапии ХНФУ
- Сериков Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доц., каф. мехатроники автотранспортных средств, Харьковский национальный автодорожный университет
- Сушко Анатолий Федорович – д-р техн. наук, проф.
- Хашан Татьяна Сергеевна – аспирант, ДГИИИ
- Цымбал Александр Михайлович – канд. техн. наук, доц. каф. технологии и автоматизации производства, ХНУРЭ
- Цымбал Алексей Михайлович – врач-интерн, Харьковская медицинская академия последипломного образования
- Чикина Валентина Алексеевна – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. каф. ПО ЭВМ, ХНУРЭ
- Штангей Светлана Викторовна – аспирантка, ХНУРЭ
- Шубин Игорь Юрьевич – канд. техн. наук, доц. каф. ПО ЭВМ, ХНУРЭ

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лесная Н.С., Штангей С.В.</i> Математическая модель проведения сеанса дистанционного образования .....	3
<i>Бондаренко М.Ф., Ерохин А.Л.</i> О моделях внештатного поведения интеллектуальных систем .....	7
<i>Булавин Д.А., Петров К.Э., Петров Э.Г.</i> Использование генетических алгоритмов для решения задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания .....	17
<i>Водолажский А.С., Дюбко Г.Ф.</i> Преобразование и логический анализ машинных программ .....	27
<i>Дюбко Г.Ф., Лецинская Е.Л.</i> Разработка графового представления грамматики для создания case-средств построения трансляторов .....	32
<i>Сериков С.А.</i> Некоторые аспекты исследования хаотических процессов в технических системах .....	39
<i>Варфоломеева И.В.</i> Развитие принципа внешнего дополнения РАКЗ-моделей знаниеориентированного принятия решений .....	48
<i>Кобылин О.А.</i> Непрерывное вейвлет-преобразование для выделения контура изображения .....	58
<i>Поливцев С.А., Хашан Т.С.</i> Исследование геометрических и акустических свойств сенсоров для системы технического слуха роботов .....	63
<i>Крутько М.А.</i> Способы обучения адаптивных сетей Кохонена дополнительной фонетической информации и символьным данным .....	70
<i>Газимов Р.Т., Криводубский О.А.</i> Задачи оптимального размещения изображений в базах данных .....	76
<i>Дибривный М.В.</i> Кодирование семантической информации на основе Универсального семантического кода .....	83
<i>Высоцкая Е.В., Порван А.П., Самура Б.А., Самура Б.Б.</i> Применение математического моделирования к решению задачи системного анализа фитотерапевтической информации .....	91
<i>Каук В.И., Коряк А.С.</i> Унифицированный язык моделирования UML для Semantic Web .....	98
<i>Винокурова Е.А., Ламонова Н.С., Плисс И.П.</i> Генератор аналитических вэйвлетов .....	104
<i>Выродов А.П., Шубин И.Ю.</i> Нейросетевые модели в компьютерно-ориентированных дидактических системах .....	110
<i>Омельченко С.В., Преснякова В.В.</i> Алгоритмы распознавания изображений по спектру .....	118
<i>Цымбал А.М., Цымбал А.М.</i> Разработка оболочки экспертной системы для диагностики психиатрических заболеваний .....	122
<i>Гурьев А.Э., Чикина В.А.</i> Классификация омонимов на материале русского языка .....	129
<i>Бых А.И., Карпинский М.Ю., Сушко А.Ф.</i> Математическое моделирование компенсаторных возможностей биологических систем на примере опорно-двигательной системы человека .....	134

## CONTAINS

<i>Lesnaya N.S., Shtangey S.V.</i> The mathematical model of distant education session conducting .....	3
<i>Bondarenko M.F., Yerokhin A.L.</i> About models of non-staff intellectual systems behaviour ..	7
<i>Bulavin D.A., Petrov K.E., Petrov E.G.</i> Application of genetic algorithms' methods of solving the structure parametric identification task of individual multifactor estimation model .....	17
<i>Vodolazhsky A.S., Dubko G.F.</i> The conversion and logical analysis of the machine programs .....	27
<i>Dubko G.F., Leshinskaya E.L.</i> The graph grammar representation development for the creation of translators design case-tools .....	32
<i>Serikov S.A.</i> Some aspects of chaotic processes study in technical systems .....	39
<i>Varfomeeva I.V.</i> Development of a principle of DLAQ-models external addition of knowledge oriented decision making .....	48
<i>Kobylin O.A.</i> Continuous wavelet transformation for the image contour selection .....	58
<i>Polivtseev S. A., Khashan T. S.</i> Investigation of geometrical and acoustic properties of sensors intended for robot technical hearing system .....	63
<i>Krutko M.A.</i> The methods of Kohonen adaptive neural-networks teaching of additional phonetic information and symbolic .....	70
<i>Gazimov R.T., Crivodubskiy O.A.</i> Tasks of the optimum placing of images in databases .....	76
<i>Dibrivny M. V.</i> Coding of the semantic information on the basis of the Universal Semantic Code .....	83
<i>Visotska H.V., Porvan A.P., Samura B.A., Samura B.B.</i> Application of mathematical modeling to the solution of the phytotherapy information system analysis .....	91
<i>Kauk V.I., Koryak O.S.</i> Unified Modeling Language UML for Semantic Web .....	98
<i>Vynokurova O.A., Lamonova N.S., Pliss I.P.</i> Analytic wavelets generator .....	104
<i>Vyrodov O.P., Shubin I.Y.</i> The neuronet models in computer-based didactic systems .....	110
<i>Omelchenko S.V., Presnjakov I.N.</i> Algorithms of image recognition on spectrum .....	118
<i>Tsymbal A.M., Tsymbal A.M.</i> The expert system framework development for psychiatry decease diagnosis .....	122
<i>Guryev A.E., Chikina V.A.</i> Homonym classification on Russian language material .....	129
<i>Byh A.I., Karpinskiy M.Y., Sushko A.F.</i> Mathematical modeling of compensatory biological system abilities on the example of human musculoskeletal system .....	134

## РЕФЕРАТЫ

## РЕФЕРАТИ

## ABSTRACTS

УДК 658.012.011.56

**Математическая модель проведения сеанса дистанционного образования** / Н.С. Лесная, С.В. Штангей // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 3-6.

Рассмотрены основные особенности проведения сеанса дистанционного образования с использованием современных информационных технологий. Разработана математическая модель протокола сеанса дистанционного образования. Предложена последовательность этапов проведения сеанса дистанционного образования.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 658.012.011.56

**Математична модель проведення сеансу дистанційної освіти** / Н.С. Лесна, С.В. Штангей // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 3-6.

Розглянуті основні особливості проведення сеансу дистанційної освіти з використанням сучасних інформаційних технологій. Розроблено математичну модель протоколу сеансу дистанційної освіти. Запропонована послідовність етапів проведення сеансу дистанційної освіти.

Бібліогр.: 4 назви.

UDC 658 012.011.56

**The mathematical model of distant education session conducting** / N.S. Lesnaya, S.V. Shtangey // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 3-6.

The basic features of distant education session conducting using modern information technologies are described. Mathematical model of distant education session protocol is developed. The sequence of distant education session stages is proposed.

Ref.: 4 items.

УДК 681.518:004.912

**О моделях нештатного поведения интеллектуальных систем** / М.Ф.Бондаренко, А.Л.Ерохин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 7-16.

Рассматривается концепция создания интеллектуальных систем управления при нештатных ситуациях в сложноорганизованных системах. Сформулированы основные требования и подходы к разработке и использованию алгебры нештатных ситуаций. Предложена модель флуктуационной капсулы параметров системы в виде единичного многомерного шара. Разработаны модели психофизиологического состояния человека-оператора и модели нештатных ситуаций в сложноорганизованной интеллектуальной системе.

Библиогр.: 17 назв

УДК 681.518:004.912

**Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем** / М.Ф.Бондаренко, А.Л.Єрохін // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 7-16.

Розглядається концепція створення інтелектуальних систем управління під час позаштатних ситуацій в складноорганізованих системах. Сформульовано основні вимоги та підходи до розробки й використання алгебри нештатних ситуацій. Запропоновано модель флуктуаційної капсули параметрів системи у вигляді одиничної багатомірної кулі. Розроблено моделі психофізіологічного стану людини-оператора та моделі позаштатних ситуацій в складноорганізованій інтелектуальній системі.

Бібліогр.: 17 назв.

UDC 681.518:004.912

**About models of non-staff intellectual systems behaviour** / M.F. Bondarenko, A.L. Yerokhin // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 7-16.

The concept of intellectual control systems creation at off-optimum situation in complex-organized systems is considered. The basic requirements and approaches to working and using off-optimum situation algebra are formulated. The model of fluctuating capsules of system parameters as a single multivariate

sphere is offered. Models of human-operator psychophysiological status and off-optimum situation models in complex-organized intellectual system are developed.

Refs: 17 items.

УДК 519.81

**Использование генетических алгоритмов для решения задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания** / Д.А. Булавин, К.Э.Петров, Э.Г. Петров // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 17-26.

Рассмотрены постановка и методы решения задач структурной и параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания. В качестве метода решения задач идентификации рассмотрено применение метода генетических алгоритмов, приведены результаты использования данного метода.

Табл.3. Библиогр.: 9 назв.

УДК 519.81

**Використання генетичних алгоритмів для розв'язання задачі структурно-параметричної ідентифікації моделі індивідуального багатофакторного оцінювання** / Д.О. Булавін, К.Е. Петров, Е.Г. Петров // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 17-26.

Розглянуто постановку та методику розв'язання задачі структурної та параметричної ідентифікації моделі індивідуального багатофакторного оцінювання. У якості метода розв'язання задачі структурної ідентифікації розглянуто застосування метода генетичних алгоритмів, наведено результати використання цього метода.

Табл. 3. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 519.81

**Application of genetic algoritms' methods of solving the structure parametric identification task of individual multifactor estimation model** / D.A. Bulavin, K.E. Petrov, E.G.Petrov // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 17-26.

The statement and the methods of solving the structure and parametric identification task of individual multifactor estimation model are considered. The structure identification task solution is based on the genetic algorithm methods. The results received during the experiment are analyzed.

Tab. 3. Ref.: 9 items.

УДК 519.7

**Преобразование и логический анализ машинных программ** / А.С.Водолажский, Г.Ф.Дюбко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 27-31

Рассматриваются вопросы анализа семантики программ в машинных кодах. Предлагается метод определения семантических особенностей программ путем построения их логических схем, формирования базы признаков и логического вывода с использованием базы знаний и правил. Приведен пример определения семантики выполняемых программой функций.

Ил. 6. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.7

**Перетворення та логічний аналіз машинних програм** / О.С. Водолажський, Г.Ф. Дюбко // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 27-31.

Розглядаються питання аналізу семантики програм у машинних кодах. Пропонується метод встановлення семантичних властивостей програм шляхом будування їх логічних схем, формування бази ознак та логічного виводу з використанням бази знань та правил. Наведено приклад встановлення семантики функцій, що виконуються програмою.

Іл. 6. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.7

**The conversion and logical analysis of the machine programs** / A.S. Vodolazhsky, G.F. Dubko // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P.27-31.

The questions of the machine program semantic analysis are considered. The method of the program semantic properties determination by its logical schemes building, as well as signs base forming and logical deduction using the knowledge and rules base is proposed. The example of the determination of the program functions is considered.

Fig. 6. Ref.: 5 items.

УДК 004.423.26

**Разработка графового представления грамматики для создания case-средств построения трансляторов** / Г.Ф. Дюбко, Е.Л. Лещинская // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 32-38.

Статья посвящена проблеме разработки формальных грамматик. Существующие средства проектирования и тестирования грамматик в большинстве своем не учитывают возможности её повторного использования, что значительно замедляет и усложняет их создание и отладку. Предлагаемый подход призван решить эту проблему путем внесения в грамматику механизма наследования. Продукции грамматики представляются в виде взвешенных ориентированных графов, а операция наследования реализована как операция работы с множествами дуг, отраженных в ячейках матриц смежности этих графов.

Табл. 4. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 004.423.26

**Розробка графового подання грамматики для створення case-засобів побудови трансляторів** / Г.Ф. Дюбко, Е.Л. Лещинська // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 32-38.

Стаття присвячена проблемі розробки формальних граматик. Існуючі засоби проектування та тестування граматик у своїй більшості не враховують можливості їх повторного використання, що значно сповільнює та ускладнює процес їх розробки та налагодження. Запропонований підхід покликаний вирішити це питання шляхом додавання до грамматики механізму спадкування. Продукції грамматики подаються у вигляді маркованих направлених графів, а операція наслідування реалізована як операція з множинами дуг у чарунках матриць суміжності цих графів.

Табл. 4. Іл. 2. Бібліогр.: 3 назв.

UDC 004.423.26

**The graph grammar representation development for the creation of translators design case-tools** / G F Dubko, E.L. Leshinskaya // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 32-38.

This article is devoted to the problem of formal grammar construction. The existing tools of grammar designing and testing do not consider the possibility of its reuse in most cases. This fact slows down and makes a process of their designing and adjusting more complicated. The proposed approach is aimed to solve this problem by grammar integration and the inheritance mechanism. Grammar products are represented as weighted oriented graphs and the inheritance operation is implemented as operation on edges sets. Edges are represented as set elements in the edge matrixes of these graphs.

Tab. 4. Fig. 2. Ref.: 3 items.

УДК 612.03

**Некоторые аспекты исследования хаотических процессов в технических системах** / С.А. Сериков // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 39-47.

Рассматриваются вопросы использования искусственных нейронных сетей для исследования хаотической динамики в технических системах. Для определения конфигурации сети используется оценка стохастических характеристик аттрактора системы.

Табл. 1. Ил. 8. Библиогр.: 4 назв.

УДК 612.03

**Деякі аспекти дослідження хаотичних процесів у технічних системах / С.А. Серіков**

// Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С.39-47.

Розглядаються питання використання штучних нейронних мереж для дослідження хаотичної динаміки в технічних системах. Для визначення конфігурації мережі використовується оцінка стохастичних характеристик аттрактора системи.

Табл. 1. Іл. 8. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 612.03

**Some aspects of chaotic processes study in technical systems / S.A.Serikov // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 39-47.**

Questions of applying artificial neural networks for the study of chaotic dynamics in technical systems are considered. For the network characteristic determination the evaluation of the systems attractor stochastic features is used.

Tab. 1. Fig. 8. Ref.: 4 items.

УДК 004.8:004.89

**Развитие принципа внешнего дополнения РАКЗ-моделей знаниеориентированного принятия решений / И.В. Варфоломеева // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вип. 60. С. 48-57.**

Получил развитие принцип внешнего дополнения, обеспечивающий экстраполяционные свойства метода разноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ-метода) знаниеориентированного принятия решений. По-новому сформулированы и доказаны основные теоремы, обосновывающие способ адекватного соотношения сложности искомым имплицативных и функциональных моделей объекта принятия решений с объемами обучающих выборок. Приведены расчетные данные, позволяющие по параметрам обучающей выборки определить максимальный ранг имплицативных и функциональных закономерностей.

Табл. 5. Библиогр.: 7 назв.

УДК 004.8:004.89

**Розвиток принципу зовнішнього доповнення РАКЗ-моделей знанняорієнтованого прийняття рішень / І.В. Варфоломєєва // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 48-57.**

Одержав розвиток принцип зовнішнього доповнення, що забезпечує екстраполяційні властивості методу різнорівневих алгоритмічних квантів знань (РАКЗ-методу) знанняорієнтованого прийняття рішень. По-новому сформульовані та доведені основні теореми, що обґрунтовують спосіб адекватного співвіднесення складності шуканих імплікативних та функціональних моделей об'єкта прийняття рішень з обсягами навчальних вибірок. Наведено розрахункові дані, що дозволяють за параметрами навчальної вибірки визначити максимальний ранг імплікативних та функціональних закономірностей.

Табл. 5. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.8:004.89

**Development of a principle of DLAQ-models external addition of knowledge oriented decision making / I.V. Varfomeeva // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 48-57**

A principle of external addition that provides extrapolation properties of a method of different level knowledge algorithmic quantum of knowledge oriented decision making is developed. Main theorems that prove the methods of adequate correlation of complexity in required implicative and functional models of object decision making with training sample volumes are formalized and proved in a new way. The calculated data that allow determining the maximal range of implicate and functional regulations are proposed.

Tab. 5. Ref.: 7 items.

УДК 004.93`1

**Непрерывное вейвлет-преобразование для выделения контура изображения**

/ О.А. Кобылин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 58-62.

Рассматривается новый способ выделения контура изображения на основе вейвлет-анализа. Высококочувствительный вейвлет-спектральный анализ позволяет определять границы объектов на изображении. Производится сравнение с классическими способами определения контуров объектов.

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

УДК 004.93`1

**Безперервне вейвлет-перетворення для виділення контура зображення** / О.А. Кобилін

// Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 58-62

Розглядається новий спосіб виділення контура зображення на основі вейвлет-аналізу. Високо-чутливий вейвлет-спектральний аналіз дозволяє визначати межі об'єктів на зображенні. Проводиться порівняння з класичними способами визначення контурів об'єктів.

Іл. 3. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.93`1

**Continuous wavelet transformation for the image contour selection** / O. A. Kobylin

// Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 58-62.

A new method of image contour selection on the basis of wavelet analysis is considered. The highly sensitive wavelet-spectral analysis allows to determine the scopes of objects on the image. Comparison with the classic methods of image contour determination is produced.

Fig. 3. Ref.: 7 items.

УДК 004.896

**Исследование геометрических и акустических свойств сенсоров для системы технического слуха роботов** / С.А. Поливцев, Т.С. Хашан // Проблемы бионики: Всеукр. меж-

вед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 63-69.

Разработана схема акустических сенсоров для системы технического слуха роботов. Выполнен анализ и определены наиболее эффективные геометрические формы таких сенсоров, исследованы их акустические свойства. В качестве входного сигнала выбран простой гармонический сигнал, исследования проведены для диапазона частот, соответствующих типичным частотам человеческой речи.

Библиогр.: 10 назв.

УДК 004.896

**Дослідження геометричних і акустичних властивостей сенсорів для системи технічного слуху роботів** / С.О. Поливцев, Т.С. Хашан // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 63-69.

Розроблено схему акустичних сенсорів для системи технічного слуху роботів. Виконано аналіз і визначені найбільш ефективні геометричні форми таких сенсорів, досліджені їхні акустичні властивості. У якості вхідного сигналу обрано простий гармонійний сигнал, дослідження проведені для діапазону частот, що відповідають типовим частотам людської мови.

Бібліогр.: 10 назв.

UDC 004.896

**Investigation of geometrical and acoustic properties of sensors for robot technical hearing system** / S. A. Polivtsev, T. S. Khashan // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 63-69.

The scheme of acoustic sensors intended for robot technical hearing system is developed. Analysis of geometrical forms of those sensors is performed and effective ones are found, their acoustic properties are investigated. The ordinary harmonic signal is chosen as input, investigations are made for the range of frequencies corresponding to typical frequencies of human speech.

Ref.: 10 items.

УДК 004.934.1

**Способы обучения адаптивных сетей Кохонена дополнительной фонетической информацией и символьным данным / М.А. Крутько // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 70-75.**

Описаны два метода селективного обучения адаптивных нейронных сетей Кохонена дополнительной фонетической информации, а также два способа обучения и сопоставления нейронам сети символьной информации. На основе выходных данных работы алгоритмов решена задача произвольного обучения сети новой информации без модификации, а также с незначительной модификацией хранимых данных. Решена задача литерации исходного речевого сигнала.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

УДК 004.934.1

**Способи навчання адаптивних мереж Кохонена доповняльній фонетичній інформації та символьним даним / М.А. Крутько // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 70-75.**

Описані два методи селективного навчання адаптивних нейронних мереж Кохонена новій фонетичній інформації, а також два способи навчання і співвідношення нейронам мережі символьної інформації. На основі вихідних даних роботи алгоритмів розв'язана задача довільного навчання мережі новій інформації без модифікації, а також з незначною модифікацією збережених даних. Розв'язано задачу літерації вхідного сигналу мовлення.

Ил. 4. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 004.934.1

**The methods of Kohonen adaptive neural-networks teaching of additional phonetic information and symbolic data / M.A. Krutko // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 70-75.**

Two methods of the selective teaching of Kohonen adaptive neural networks of additional information as well as two ways of teaching and comparing the symbolic information with net neurons are described. On the basis of algorithms output data, the task of arbitrary net teaching of new information without modification as well as slight modification of storing data is solved. Also the task of initial speech signal literation is solved.

Fig. 4. Ref.: 3 items.

УДК 519.876.2

**Задачи оптимального размещения изображений в базах данных / Р.Т. Газимов, О.А. Криводубский // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 76-82.**

Статья посвящена исследованию процесса размещения изображений в базах данных (БД). В рамках данного исследования описывается структура и функционирование системы размещения; выделяются, классифицируются и формализуются ее переменные и описываются связи между ними; определяется структура БД изображений и правила ее заполнения. На основе полученных данных формулируется физическая постановка задач оптимального размещения изображений в БД.

Ил. 3. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.876.2

**Задачі оптимального розміщення зображень в базах даних / Р.Т. Газімов, О.А. Криводубський // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 76-82.**

Стаття присвячена дослідженню процесу розміщення зображень у базах даних (БД). У рамках даного дослідження описується структура і функціонування системи розміщення; виділяються, класифікуються і формалізуються її змінні і описуються зв'язки між ними; визначається структура БД зображень і правила її заповнення. На основі отриманих даних формулюється фізична постановка задач оптимального розміщення зображень у БД.

Ил. 3. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.876.2

**Tasks of the optimum placing of images in databases** / R. T. Gazimov, O. A. Crivodubskiy // Problemy Bioniki. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 76-82.

The article is devoted to research on process of placing images in databases (DB). Within the framework of the given research a structure and functioning of the placing system is described: its variables are selected, classified and formalized, and links between them are described; the structure of image DB and rules of its filling are determined. On the basis of obtained data the physical task statement of the optimum image placing in DB is formulated.

Fig. 3. Ref.: 10 items.

УДК 519.767.6

**Кодирование семантической информации на основе Универсального семантического кода** / М. В. Дибривный // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 83-90.

Описывается семантический способ представления информации, позволяющий условно выделять семантическую нагрузку из естественно-языковых текстов и генерировать тексты на естественном языке на основе семантического кода. В качестве математической модели для семантического уровня используется специализированная алгебра: универсальный семантический код (УСК). Алгебра предназначена для работы с семантикой и оперирует со структурными формулами элементарных смысловых цепочек. Рассматривается пример на основе одной из сфер применения предлагаемой технологии. С помощью УСК описывается ограниченная модель мира и обмен сообщениями между роботами.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.767.6

**Кодування семантичної інформації на основі Універсального семантичного коду** / М. В. Дібривний // Проблеми біоніки. Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 83-90.

Описано семантичний спосіб подання інформації, який дозволяє виділяти семантичне навантаження із природно-мовних текстів на основі семантичного коду. Якості математичної моделі для семантичного рівня використовується спеціалізована алгебра: універсальний семантичний код (УСК). Алгебра призначена для роботи із семантикою і оперує зі структурними формулами елементарних словесних ланцюжків. Розглянуто приклад на основі однієї із сфер застосування технології, що пропонується. За допомогою УСК описано обмежену модель світу та обмін повідомленнями між роботами.

Іл. 4. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 519.767.6

**Semantic information coding on the basis of the Universal Semantic Code** / M. V. Dibrivny // Problemy Bioniki. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 83-90.

Semantic method of information representation is considered. It enables allotting semantic load out of natural language text as well as generating texts in natural text on the semantic code basis. Specialized algebra. Universal Semantic Code (USC), is used as mathematical model for semantic level. Algebra is intended to operation with semantics and operates with structural formulas of elementary semantic chains. The example on the basis of scope of offered technology is considered.

Fig. 4. Ref.: 10 items.

УДК 519.673:61

**Применение математического моделирования к решению задачи системного анализа фитотерапевтической информации** / Е. В. Высоцкая, А. П. Порван, Б. А. Самура, Б. Б. Самура // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 91-97.

Рассмотрены модельные и модельно-независимые способы описания реперторизации и предложена параметрическая детерминированная модель процесса реперторизации при восстановлении нарушенного равновесия организма человека с использованием растительных лекарственных и гомеопатических средств. Рассмотрен пример моделирования данного процесса при назначении комплексной терапии.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.673:61

**Застосування математичного моделювання до рішення задачі системного аналізу фітотерапевтичної інформації** / О.В. Висоцька, А.П. Порван, Б.А. Самура, Б.Б. Самура // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 91-97.

Розглянуто модельні та модельно-незалежні засоби опису реперторизації і запропоновано параметричну детерміновану модель процесу реперторизації при відновленні порушеної рівноваги організму людини з використанням рослинних лікарських та гомеопатичних засобів. Розглянуто приклад моделювання цього процесу при призначенні комплексної терапії.

Табл. 2. Іл. 3. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.673:61

**Application of mathematical modeling for the solution of the phytotherapy information system analysis task** / H.V. Visotska, A.P. Porvan, B.A. Samura, B.B. Samura // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 91-97.

Model and non-model methods of rapertorisation description are considered. The determined parametrical model of rapertorisation process at restoring upset human body balance using photogenic and homeopathic resources is offered. The example of this process modeling at complex therapy prescription is considered.

Tab. 2. Fig. 3. Ref.: 4 items.

УДК 004.8

**Унифицированный язык моделирования UML для Semantic Web** / В. И. Каук, А. С. Коряк // Проблеми біоники: Всеукр. межвід. науч.-техн. сб. 2004. Вип. 60. С. 98-103.

Статья посвящена вопросу графического представления для языков представления данных. UML как графический индустриальный стандарт наиболее подходит для представления знаний в графической форме. UML-нотация имеет много схожих концепций с нотациями языков представления данных, но в то же время здесь присутствуют некоторые различия, которым также уделено внимание.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 004.8

**Уніфікована мова моделювання UML для Semantic Web** / В. І. Каук, О. С. Коряк // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 98-103.

Стаття присвячена питанню графічного зображення для мов подання знань. UML як графічний індустріальний стандарт найбільше підходить для подачі знань в графічній формі. UML-нотация має багато схожих концепцій з нотациями мов подання даних, і в той же час в ній присутні деякі несумісності, яким також приділяється увага.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 2 назв.

UDC 004.8

**Unified Modeling Language UML for Semantic Web** / V. I. Kauk, O. S. Koryak // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 98-103.

The article is devoted to the question of graphical representation for knowledge representing languages. UML as a graphical industrial standard covers the task of representing knowledge in a graphical form. UML notation and knowledge representing languages have much in common but at the same time incompatibilities exist. These incompatibilities are also considered.

Tab.1 Fig. 1. Ref.: 2 items

УДК 519.7:007.52

**Генератор аналитических вэйвлетов** / Е. А. Винокурова, Н. С. Ламонова, И. П. Плисс // Проблеми біоники: Всеукр. межвід. науч.-техн. сб. 2004. Вип. 60. С. 104-109.

Предложен подход к синтезу генератора аналитических вэйвлетов. Для анализа свойств вэйвлетов введена адаптивная нейронная сеть Фурье и алгоритм ее обучения. Результаты имитационного моделирования показали, что с помощью генератора аналитических вэйвлетов можно получить широкое семейство вэйвлет-функций.

Ил. 7. Библиогр.: 17 назв.

УДК 519.7:007.52

**Генератор аналітичних вейвлетів** / О. А. Винокурова, Н. С. Ламонова, І. П. Плісс  
// Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 104-109.

Запропоновано підхід до синтезу універсального генератора аналітичних вейвлетів. Для аналізу властивостей вейвлетів запропоновано адаптивну нейронну мережу Фур'є та алгоритм її навчання. Результати імітаційного моделювання показали, що за допомогою генератора аналітичних вейвлетів можна одержати велике сімейство вейвлет-функцій.

Іл. 7. Бібліогр.: 17 назв.

UDC 519.7:007.52

**Analytic wavelets generator** / O. A. Vynokurova, N. S. Lamonova, I. P. Pliss // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 104-109.

The approach to design of analytic wavelets generator is proposed. The adaptive Fourier neural network for the analysis of wavelet properties and its learning algorithm are proposed. The modeling results show that a large family of wavelet-function can be obtained with the help of analytic wavelets generator

Fig. 7. Ref.: 17 items.

УДК 681.322

**Нейросетевые модели в компьютерно-ориентированных дидактических системах**  
/ А.П. Выродов, И.Ю. Шубин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 110-117.

Показано построение нейросетевых моделей распознавателя схемы изучения модели обучаемого компьютерно-ориентированной дидактической системы. Приведены структуры как компьютерно-ориентированной дидактической системы в целом, так и модели обучаемого в частности. Детально описана методика проведения экспериментального исследования созданных нейросетевых моделей и полученные результаты.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 9 назв.

УДК 681.322

**Нейромеревеві моделі у комп'ютерно-орієнтованих дидактичних системах** / О.П. Виродов, І.Ю. Шубін // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 110-117.

Показано побудову нейромеревевих моделей розпізнавача схеми вивчення моделі суб'єкта навчання комп'ютерно-орієнтованої дидактичної системи. Наведено структури як комп'ютерно-орієнтованої дидактичної системи взагалі, так і моделі суб'єкта навчання зокрема. Детально описано методику проведення експериментального дослідження створених нейромеревевих моделей та отримані результати.

Табл. 2. Іл. 2. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 681.322

**The neuronet models in computer-based didactic systems** / O.P. Vyrodov, I.Y. Shubin // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 110-117.

The construction of neuronet models of study pattern recognizer for trainee model in computer-based didactic systems is shown. The structures of computer-based didactic system and trainee model are given. The method of experimental research of created neuronet models and received result are described in detail.

Tab. 2. Fig. 2. Ref.: 9 items.

УДК 621.391:007.001.362

**Алгоритмы распознавания изображений по спектру** / С.В. Омельченко, В.В. Преснякова  
// Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2004. Вып. 60. С. 118-121.

Рассмотрен ряд алгоритмов распознавания изображений по спектру. Проведен сравнительный анализ ряда алгоритмов распознавания в пространстве спектральных признаков с применением разнообразных алгоритмов оценивания признаков и разнообразных мер близости по показателям средней вероятности правильного распознавания, а также устойчивости алгоритмов к влиянию гауссова белого шума.

Ил. 1. Библиогр.: 1 назв.

УДК 621.391.007.001.362

**Алгоритми розпізнавання зображень за спектром** / С.В.Омельченко, В.В.Преснякова // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 118-121.

Розглянуто ряд алгоритмів розпізнавання зображень за спектром. Проведено порівняльний аналіз ряду алгоритмів розпізнавання в просторі спектральних ознак із застосуванням різноманітних алгоритмів оцінювання ознак і різноманітних мір близькості за показниками середньої імовірності правильного розпізнавання, а також стійкості алгоритмів до впливу гаусового білого шуму.

Іл. 1. Бібліогр.: 1 назв.

UDC 621.391.007.001.362

**Algorithms of image recognition on spectrum** / S.V.Omelchenko, I.N. Presnjakov // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 118-121.

Algorithms of image recognition on spectrum are considered. Comparative analysis of a number of recognition algorithms in space of spectral patterns using various pattern evaluation algorithms and proximity measures by the mean probability indices of the correct recognition as well as algorithm stability to the Gaussian white noise action is carried out.

Fig. 1. Ref.: 1 item.

УДК 681.518.54

**Разработка оболочки экспертной системы для диагностики психиатрических заболеваний** / А.М. Цымбал, А.М. Цымбал // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 122-128.

Рассматривается построение прототипа экспертной системы в области диагностики психиатрических заболеваний. Предлагается использование фреймовой модели представления знаний. Предусматривается проведение первичного опроса больного с целью выявления симптомов, наиболее вероятных расстройств и синдромов психиатрических заболеваний.

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.518.54

**Розробка оболонки експертної системи для діагностики психіатричних захворювань** / О.М. Цимбал, О.М. Цимбал // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 122-128.

Розглядається побудова прототипу експертної системи в галузі діагностики психіатричних захворювань. Пропонується використання фреймової моделі подання знань. Передбачається проведення первинного опитування хворого з метою виявлення симптомів, найбільш ймовірних розладів та синдромів психіатричних захворювань.

Іл. 7. Бібліогр.: 4 назв.

UDC 681.518.54

**The expert system framework development for psychiatry decease diagnosis** / A.M. Tsymbal, A.M. Tsymbal // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 122-128

The development of expert system prototype in field of psychiatry decease diagnosis is considered. The implementation of frame model for knowledge representation is proposed. The conduction of primary patient poll to reveal the symptoms, probable indigestions and psychiatry decease syndromes is foreseen.

Fig. 7. Ref.: 4 items.

УДК 519.7

**Классификация омонимов на материале русского языка** // А.Э. Гурьев, В.А. Чикина // Проблеми біоники: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 129 – 133.

Статья посвящена проблеме формализации омонимии для письменной формы естественного языка. Приведена классификация омонимов на всей совокупности омонимов определенного вида с учетом разработки формальных методов, не использующих понятие смысла. С привлечением морфологического, постморфологического и синтаксического анализа возможна разработка эффективных машинных процедур для разрешения проблемы омонимии. Результаты исследований позволят про-

двинуться в решении практических задач в области создания программных систем для автоматической обработки текстов.

Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.7

**Класифікація омонімів на метаріалі російської мови** // А.Е. Гур'єв, В.О. Чкіна // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60 С. 129 – 133.

Стаття присвячена проблемі формалізації омонімії для письмової форми природної мови. Наведено класифікацію омонімів на всій сукупності омонімів визначеного виду з урахуванням розробки формальних методів, що не використовують поняття змісту. З залученням морфологічного, постморфологічного і синтаксичного аналізу можливі розробка ефективних машинних процедур для рішення проблеми омонімії. Результати досліджень дозволяють просунути в рішенні практичних задач в області створення програмних систем для автоматичної обробки текстів.

Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.7

**Homonym classification on Russian language material** // A. E. Guryev, V.A. Chikina // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 129 – 133.

This article is devoted to the task of homonymy formalization for written natural language. The homonymy classification for a whole homonym set of given kind taking into account the development of formal methods that do not consider a sense notion is provided. The development of effective computer procedures for homonymy task solution attracting morphological, post-morphological and syntactical analysis is possible. The research results are useful in solution of practical tasks in the area of program system creation for text automatic processing.

Ref.: 4 items.

УДК 519.876.5:616.71-001.5

**Математическое моделирование компенсаторных возможностей биологических систем на примере опорно-двигательной системы человека** / А.И. Бых.

М.Ю. Карпинский, А.Ф. Сушко // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 134 – 138.

Рассматривается математическая модель компенсаторных возможностей биологических объектов. Доказано, что изменение одного или нескольких параметров системы не ведет к необратимым последствиям и может быть компенсировано изменением других.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.876.5:616.71-001.5

**Математичне моделювання компенсаторних можливостей біологічних систем на прикладі опорно-рухової системи людини** / О.І. Бых, М.Ю. Карпінський, А.Ф. Сушко

// Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2004. Вип. 60. С. 134 – 138.

Розглядається математична модель компенсаторних можливостей біологічних об'єктів. Доведено, що зміна одного або декількох параметрів системи не призводить до незворотних наслідків, і може бути компенсована зміною інших.

Іл. 2. Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.876.5:616.71-001.5

**Mathematical modeling of compensatory biological system abilities on the example of human musculoskeletal system** / A.I. Byh, M., Yu. Karpinskiy, A.F. Sushko // Problemy Bioniki: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2004. № 60. P. 134 – 138.

The mathematical model of biological system compensatory ability is considered. It is proven that the alteration of one or some system parameters does not lead to irreversible consequences and can be compensated by alteration of others.

Fig. 2. Ref.: 4 items.