

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0555-2656

# БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

---

---

№ 2 (67)

2007

---

---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1967 г.

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 9148 от 10.09.2004

Журнал включен в список специальных изданий ВАК Украины  
по техническим наукам  
(приложение к постановлению ВАК Украины № 1-05/7 от 04.07.2006)

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П.</i> Модель статистики адаптации органов чувств .....  | 3   |
| <i>Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П.</i> Модель динамики адаптации органов чувств .....  | 15  |
| <i>Бодянский Е.В., Долотов А.И.</i> Многослойная самообучающаяся спайк-нейронная сеть .....   | 21  |
| <i>Заболотня Т.М.</i> Селективный підхід до автоматизованого формування оперативного спеціалізованого лексико-семантичного словникового ресурсу .....                       | 27  |
| <i>Ступак Е.А., Романова Т.Е., Злотник М.В.</i> Ф-функции для неориентированных круговых сегментов и базовых 2D объектов .....  | 32  |
| <i>Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В.</i> Модель разбиения множества элементов смысла многозначных слов переводимого предложения в системах автоматического перевода .....         | 37  |
| <i>Дюбко Г.Ф., Преснякова Д.В.</i> Формализация семантики естественного языка с применением лямбда-исчисления .....   | 41  |
| <i>Авраменко В.П., Валенда Н.А.</i> Регуляризация процедур обработки данных в системах искусственного интеллекта.....   | 47  |
| <i>Злотник М.В., Кривуля А.В., Панкратов А.В., Романова Т.Е.</i> Стратегия решения задачи покрытия многосвязной многоугольной области.....                                  | 51  |
| <i>Кораблев Н.М., Овчаренко И.В., Токарев В.В.</i> Сравнительный анализ иммунного и генетического алгоритмов в задачах оптимизации нелинейных функций .....                 | 56  |
| <i>Дергачева Н.А., Шостак И.В., Топал А.С.</i> Интеллектуальные методы оценки финансовых рисков, связанных с оплатой за обучение в вузе .....                               | 61  |
| <i>Вечирская И.Д.</i> О методе вычисления линейных логических преобразований .....  | 65  |
| <i>Шевченко И.В.</i> Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах DATA MINING.....  | 69  |
| <i>Луганский А.М., Машталир С.В.</i> Анализ классификации текстов с использованием весовых коэффициентов .....  | 73  |
| <i>Чалая Л.Э.</i> Метод формирования базы биометрических эталонов для идентификации пользователей информационных систем по поведенческим характеристикам .....              | 78  |
| <i>Шигимага В.А.</i> Графоаналитические методы определения параметров необратимого импульсного пробоя мембраны клетки. Часть 1 .....  | 84  |
| <i>Ивченко О.В., Коряк А.С., Репка В.Б., Шерстнюк А.В.</i> Методы DATA MINING и OLAP для решения задач банковского кредитования.....  | 88  |
| <i>Яковлева Е.В., Панченко И.А.</i> Применение энергетических характеристик Лавса для сегментации изображений .....   | 94  |
| <i>Богущ О.С.</i> Использование Grid-концепции для проектирования распределенных баз данных в информационно-обучающей среде .....   | 99  |
| <i>Косулина Н.Г.</i> Устройство и программное обеспечение по определению оптимальных биотропных параметров электромагнитного поля для предпосевной обработки семян сои..... | 103 |
| Рефераты .....  | 107 |
| Об авторах.....   | 113 |
| Правила оформления рукописей для авторов научно-технического журнала «Бионика интеллекта».....  | 115 |
| Правила оформления рукописей для авторов научно-технического журнала «Бионика интеллекта».....  | 116 |
| Instructions for authors of manuscripts of the scientific journal «Bionics of Intelligence».....  | 117 |
| Зразок оформлення статті .....  | 118 |
| Информационное сообщение .....  | 119 |

УДК 519.7

**МОДЕЛЬ СТАТИКИ АДАПТАЦИИ ОРГАНОВ ЧУВСТВ**

**М.Ф. Бондаренко<sup>1</sup>, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина



Исследуются модель адаптации зрения и ее статические реакции. Описаны опыты по исследованию статико-адаптационных реакций ахроматического зрения и эксперименты по статике адаптации человеческого слуха. Приведено построение статического преобразования яркости в светлоту.

**МОДЕЛЬ АДАПТАЦИИ, ЗРЕНИЕ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЕ, РЕАКЦИЯ СТАТИКО-АДАПТАЦИОННАЯ**

**Введение**

В статьях [1, 2] было рассмотрено цветовое зрение человека во всем его объеме и сложности. При этом удалось построить два нижних этажа оператора зрения. Было также установлено, что найденные преобразования имеют ту же степень достоверности, которой обладают законы Грассмана и Талбота. Эти нижние этажи оператора осуществляют подавление избытка информации в органе зрения человека. Дальнейшие преобразования информации осуществляются без ее потери. Теперь перед нами стоит задача найти вид преобразования сигналов в верхних этажах оператора зрения. Эта задача сводится к отысканию вида взаимно однозначного оператора  $\Phi$ , преобразующего вектор-функцию промежуточного сигнала  $\bar{V}(x, y, t)$  в вектор-функцию зрительного ощущения  $\bar{S}(x, y, t)$ .

Однако такая задача слишком обширна, и мы, по необходимости, должны себя ограничить. Сделаем это, ограничившись в дальнейшем входными сигналами  $b_\lambda(x, y, t)$  в виде излучений постоянного спектрального состава. Поскольку таким излучениям соответствуют однокомпонентные зрительные ощущения, при этой постановке задачи остаются в стороне вопросы, связанные с трехкомпонентностью зрения. Одноцветность зрительного ощущения означает, что его насыщенность  $S_2(x, y, t)$  и цветовой тон  $S_3(x, y, t)$  не меняются ни в поле зрения  $x, y$ , ни во времени  $t$ . В отличие от этого светлота зрительного ощущения  $S_1(x, y, t)$ , которую мы будем в дальнейшем обозначать просто  $S(x, y, t)$ , может изменяться как в поле зрения  $x, y$ , так и во времени  $t$ .

Наша дальнейшая задача будет состоять в том, чтобы отыскать вид оператора преобразования зрительных картин постоянного спектрального состава  $b_\lambda(x, y, t)$  в одноцветное зрительное ощущение, характеризуемое светлотой  $S(x, y, t)$ . Ниже рассматривается частный случай изложенной постановки задачи, когда зрительная картина однородна и является лишь функцией времени  $b=b_\lambda(t)$ . Кроме того, предполагается, что зрительная картина во времени изменяется достаточно медленно.

При такой постановке мы приходим к задаче построения математической модели адаптации светлотного зрения.

**1. Модель адаптации зрения и ее статические реакции**

С учетом результатов, полученных в работах [1, 2], представим однокомпонентный вариант модели в случае, когда входной сигнал зависит лишь от времени  $b=b_\lambda(t)$ , в виде схемы, изображенной на рис. 1. Работа блоков модели описывается следующими уравнениями:

блок 1

$$B(t) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b_\lambda(t) K(\lambda) d\lambda; \tag{1}$$

блок 2

$$V(t) = \frac{k}{a} \int_{-\infty}^t B(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{a}} d\tau; \tag{2}$$

блок 3

$$S(t) = \Phi(V(t)). \tag{3}$$

Функция  $K(\lambda)$  выражает одну из кривых сложения фотоприемников глаза — кривую видности;  $\Phi$  — взаимно однозначный оператор, включающий в себя адаптационное преобразование. Сигнал  $B(t)$  совпадает по своему содержанию с понятием фотометрической яркости, рассматриваемой в курсе светотехники [3]. В дальнейшем сигнал  $B(t)$  будем называть просто яркостью зрительной картины.

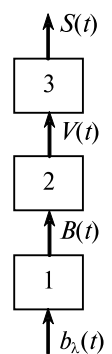


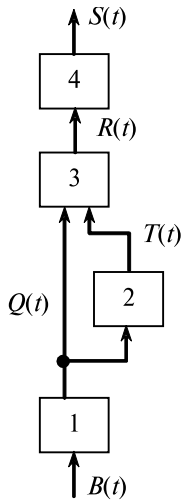
Рис. 1

При рассмотрении адаптационных процессов можно пренебречь процессами, обусловленными инерцией зрения, поскольку последние завершаются в неизмеримо более короткие сроки по сравнению с адаптационными процессами. В связи с этим оператор (2) в данном случае можно считать просто тождественным преобразованием сигналов:

$$V(t) = kB(t). \tag{4}$$

Включая множитель  $k$  в оператор  $\Phi$ , можем записать:

$$S(t) = \Phi(B(t)). \quad (5)$$



Таким образом, задача построения модели адаптации зрения сводится к установлению вида преобразования медленно изменяющейся во времени яркости зрительной картины  $B(t)$  в светлоту зрительного ощущения  $S(t)$ .

В качестве оператора  $\Phi$  предлагается математическая модель адаптации зрения, представленная на рис. 2.

Работа блоков модели описывается следующими уравнениями:

Рис. 2. Математическая модель адаптации ахроматического зрения

блок 1

$$Q = c \lg dB; \quad (6)$$

блок 2

$$m \frac{dT}{dt} + T = k_a Q; \quad (7)$$

блок 3

$$R = Q - T; \quad (8)$$

блок 4

$$S = r \cdot 10^R + s. \quad (9)$$

В уравнениях (6)-(9) символы  $c, d, m, k_a, r, s$  обозначают константы адаптационного преобразования;  $Q = Q(t), T = T(t), R = R(t)$  — некоторые промежуточные сигналы преобразования.

Согласно модели, блок 1 осуществляет логарифмирование яркости, блок 2 усредняет полученное значение логарифма яркости  $Q$  за период времени, определяемый величиной константы  $m$ , которую мы назовем постоянной времени адаптации. Кроме того, блок 2 умножает сигнал  $Q$  на константу  $k_a$ , называемую нами постоянной статистики адаптации. Блок 3 осуществляет адаптационное изменение уровня передаваемого сигнала  $Q$  на величину  $T$ , характеризующую состояние адаптации органа зрения. Наконец, блок 4 осуществляет операцию потенцирования сигнала  $R$ . Реакции построенной модели в качественном отношении соответствуют адаптационным реакциям органа зрения. Так, при переходе от темноты к яркому свету этот свет вначале слепит глаза, но со временем светлота зрительного ощущения снижается и постепенно устанавливается на некотором постоянном уровне. Таким образом, в этом случае мы имеем резкий скачок светлоты зрительного ощущения в сторону

повышения с последующим постепенным снижением светлоты к некоторому постоянному уровню [4].

Точно такой же в качественном отношении будет реакция модели адаптации. Поскольку вначале на вход модели длительно подавался сигнал  $B$  малой величины, сигналы  $Q, T, R$  и  $S$  модели также будут иметь сравнительно небольшую величину. При последующем скачкообразном увеличении сигнала  $B$  вместе с ним скачкообразно увеличиваются сигналы  $Q, R, S$ . В то же время в первое мгновение сигнал  $T$ , вследствие инерционности блока 2, останется неизменным. Однако со временем под действием сигнала  $Q$  большой величины инерционный блок вступит в работу, следствием чего явится постепенный рост сигнала  $T$ . Благодаря этому, а также действию блока 3, осуществляющему вычитание сигнала  $T$  из  $Q$ , произойдет постепенное падение уровня сигнала  $R$ , а вместе с ним и снижение светлоты  $S$  зрительного ощущения, устанавливающейся в конце концов на постоянном уровне.

Реакции модели качественно согласуются с фактическими зрительными реакциями и в случае перехода с яркого света к низкому уровню освещения. В первый момент времени ощущается значительное потемнение, что соответствует низкому уровню светлоты зрительного ощущения. Однако с течением времени глаз адаптируется, и уровень светлоты зрительного ощущения повышается. Такой же характер будут иметь и реакции модели, если на ее вход подать ступенчатый сигнал, изменяющийся с высокого значения на низкое. Заметим, что при некоторых упрощениях в предлагаемой модели адаптации зрения мы приходим к известным зависимостям. Так, заменяя уравнения (7)-(9) тождественными преобразованиями, мы приходим к логарифмической зависимости светлоты от яркости, то есть к закону Вебера-Фехнера [5, 6]. Если же заменить тождественными преобразованиями только лишь зависимости (7) и (8), то мы придем к известному степенному закону зависимости светлоты от яркости [7-10]. Наконец, заменяя тождественными преобразованиями зависимости (6) и (9), мы приходим к модели адаптации, предложенной академиком П.П. Лазаревым [11].

Подадим на вход модели адаптации ступенчатый сигнал:

$$B = \begin{cases} B_1 & \text{при } t < 0, \\ B_2 & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \quad (10)$$

Этот сигнал соответствует скачкообразному изменению во времени яркости зрительной картины с некоторого постоянного значения  $B_1$  на другое постоянное значение  $B_2$ . Нас будут интересовать следующие вопросы: какое значение имеет выходной сигнал  $S$  модели, то есть светлота зрительного

ощущения, 1 — непосредственно перед моментом скачкообразного изменения яркости зрительной картины, то есть при  $t = -0$ ; 2 — сразу же после момента скачка яркости зрительной картины, то есть при  $t = +0$ ; 3 — при установившемся режиме работы модели после момента изменения яркости зрительной картины, то есть при  $t = \infty$ . Решение поставленных вопросов не требует исследования переходных режимов работы модели, то есть ее динамических реакций. Поэтому перечисленные выше реакции модели мы будем именовать статическими.

Определим значение сигналов модели  $Q=Q_1$ ,  $T=T_1$ ,  $R=R_1$ ,  $S=S_1$  при  $t = -0$ , то есть в момент непосредственно перед скачкообразным изменением зрительной картины. Согласно формуле (6), с учетом (10) имеем:

$$Q = c \lg dB_1. \quad (11)$$

Поскольку до момента изменения яркости сигнал  $Q_1$  сохранял постоянное значение неограниченно долго, блок 2 модели при  $t < 0$  работает в установившемся режиме. Следовательно,  $dT/dt = 0$  и поэтому, согласно соотношению (7),

$$T_1 = k_a Q = k_a c \lg dB_1. \quad (12)$$

Сигнал  $R_1$ , согласно (8), равен:

$$R_1 = Q_1 - T_1 = (1 - k_a) c \lg dB_1. \quad (13)$$

Наконец, светлота  $S_1$  зрительного ощущения, согласно (9), равна:

$$S_1 = r 10^{R_1} + s = r (dB_1)^{(1-k_a)c} + s. \quad (14)$$

Аналогично этому найдем значения сигналов модели адаптации  $Q = Q_2$ ,  $T = T_2$ ,  $R = R_2$  и  $S = S_2$  при  $t = \infty$ , то есть при неограниченно долгом воздействии сигнала  $B_2$  на вход модели:

$$Q_2 = c \lg dB_2, \quad (15)$$

$$T_2 = k_a c \lg dB_2, \quad (16)$$

$$R_1 = (1 - k_a) c \lg dB_2, \quad (17)$$

$$S_2 = r (dB_2)^{(1-k_a)c} + s. \quad (18)$$

Определим значения сигналов модели  $Q = Q_0$ ,  $T = T_0$ ,  $R = R_0$  и  $S = S_0$  при  $t = +0$ , то есть сразу же после скачкообразного изменения яркости. Сигнал  $Q_0$ , согласно (6) и (10), равен:

$$Q_0 = c \lg dB_2. \quad (19)$$

В силу инерционности блока 2, его выходной сигнал непрерывен, поэтому

$$T_0 = T_1 = k_a c \lg dB_1. \quad (20)$$

Сигнал  $R_0$  в момент  $t = +0$ , согласно (8), равен:

$$R_0 = c \lg dB_2 - k_a c \lg dB_1. \quad (21)$$

Светлота зрительного ощущения в момент  $t = +0$ , согласно (9), равна:

$$S_0 = r (dB_2)^c \cdot (dB_1)^{-k_a c} + s. \quad (22)$$

Уровень светлоты  $S_0$  можно было бы получить на выходе модели и другим путем, подавая неограниченно долго на ее вход яркость  $B_0$ , связанную со светлотой  $S_0$  следующей зависимостью:

$$S_0 = r (dB_0)^{(1-k_a)c} + s. \quad (23)$$

Приравняв правые части равенств (22) и (23), получим зависимость, связывающую между собой яркости  $B_0$ ,  $B_1$  и  $B_2$ :

$$B_2 = B_1^{k_a} \cdot B_0^{1-k_a}. \quad (24)$$

Зависимость (24) допускает экспериментальную проверку. Опыты могут быть поставлены следующим образом. Наблюдатель смотрит на зрительную картину, изображенную на рис. 3а, фиксируя длительное время точку  $o$  на линии раздела двух полей. Левое поле имеет яркость  $B_1$ , правое — яркость  $B_0$ .

В некоторый момент времени на левом поле яркость  $B_1$  скачкообразно сменяется на другую яркость  $B_2$ , причем яркость правого поля остается неизменной (рис. 3б). Наблюдатель должен отметить равенство или неравенство светлот сравниваемых полей в момент непосредственно после скачка яркости на левом поле. Далее наблюдатель должен так отрегулировать одну из яркостей (например  $B_2$ ), чтобы сразу же после скачка яркости он увидел равенство светлот сравниваемых полей.

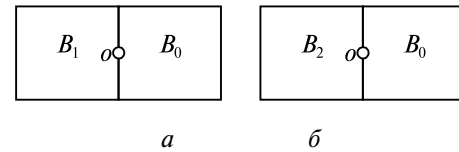


Рис. 3

Если работа органа зрения правильно описывается введенной выше моделью адаптации, то при видимом равенстве светлот полей, изображенных на рис. 3, яркости  $B_0$ ,  $B_1$  и  $B_2$  должны быть связаны соотношением (24).

## 2. Опыты по исследованию статико-адаптационных реакций ахроматического зрения

Выше, исходя из предложенной нами модели адаптации зрения, было получено равенство (24), допускающее экспериментальную проверку. Настоящий раздел посвящен опытной проверке этого следствия из модели. Эксперименты осуществлялись с помощью диска Максвелла (вертушки), на котором устанавливались три пары кружков с прорезями. В каждой паре один из кружков имеет белую поверхность с коэффициентом отражения 83% (бумага ватман), другой кружок имеет черную поверхность с коэффициентом отражения 0, 25%

(черный бархат). Значения коэффициентов отражения белой и черной поверхностей кружков были определены на колориметре КНО-3 в лаборатории цветковых измерений, руководимой канд. техн. наук Д.А. Шкловером, Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института.

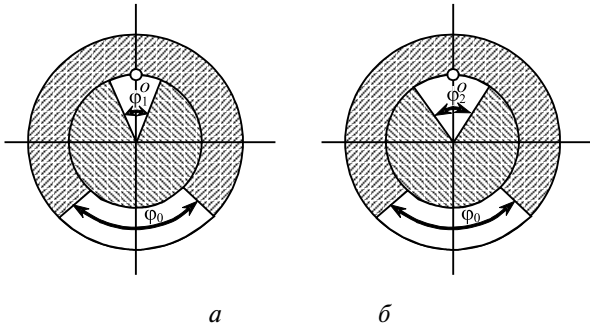


Рис. 4. Схема вертушки, использованной в опытах

Внешнее поле постоянно имеет яркость  $B_0$ , внутреннее поле первоначально имеет яркость  $B_1$  (рис. 4а), затем происходит скачкообразное изменение яркости внутреннего поля и уровня  $B_2$  (рис. 4б). Смена яркости внутреннего поля достигалась тем, что в определенный момент времени пара кружков, формирующих яркость  $B_1$  снималась и под ней обнаруживалась другая пара кружков, дающих яркость  $B_2$ . Диск вращается со скоростью около 50 об/сек. При этой скорости мелькания яркости сливаются при любом угле раствора кружков, и наблюдатель увидит поля неизменной во времени яркости. Регулируя углы раствора белых кружков  $\varphi_0, \varphi_1$  и  $\varphi_2$ , вставленных своими прорезями в прорези черных кружков, можно достичь плавной и точной регулировки яркости полей. Углы  $\varphi_0, \varphi_1$  и  $\varphi_2$  измерялись в делениях, одно деление соответствует  $1/128$  части полной окружности.

Согласно закону Талбота, яркость поля  $B$ , образовавшуюся в результате слияния мельканий, можно вычислить по формуле:

$$B = \frac{\varphi B_б + (128 - \varphi) B_ч}{128}, \quad (25)$$

где  $B_б$  и  $B_ч$  — яркость белого и черного кружков,  $\varphi$  — угол раствора белого кружка в делениях. Яркость черного поля  $B_ч$  очень мала по сравнению с яркостью белого поля, поэтому в равенстве (25) без ущерба для точности ее можно приближенно принять равной нулю. Сделав это, мы можем вычислять яркости  $B_0, B_1$  и  $B_2$  полей вертушки по формулам:

$$B_0 = \frac{B_б}{128} \varphi_0, B_1 = \frac{B_б}{128} \varphi_1, B_2 = \frac{B_б}{128} \varphi_2. \quad (26)$$

Во время проведения опытов наблюдение велось с расстояния 20 см. Диаметр внешнего поля равен 200 мм, внутреннего — 120 мм. Опыты проводились при освещенности 130 лк. Диск освещался стандартной лампой накаливания с вольфрамо-

вой нитью напряжением 220 В и мощностью 150 Вт с расстояния 3 м под углом  $45^\circ$ . Подставляя (26) в (24), получим:

$$\varphi_2 = \varphi_1^{k_a} \cdot \varphi_0^{1-k_a}. \quad (27)$$

Если модель адаптации зрения верна, то углы раствора дисков, полученные в опытах, должны быть связаны зависимостью (27).

Опыты выполнялись следующим образом. На полях вертушки задавались некоторые углы раствора  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$ . Затем наблюдатель в течение 100 сек фиксировал точку  $o$  на границе между двумя полями. При этом одна часть поля зрения практически полностью адаптировалась к яркости  $B_0$ , а другая — к яркости  $B_1$ . После этого пара внутренних кружков снималась, и под ней открывалось третье поле, образованное парой кружков с углом раствора белого кружка  $\varphi_2$ . Яркость  $B_2$  регулировалась путем изменения угла  $\varphi_2$  с таким расчетом, чтобы оба поля в первый момент времени после смены уровня яркости виделись одинаковыми по светлоте. Во время постановки опытов особое внимание пришлось уделить точному центрированию малых кружков, так как в противном случае на границе между сравниваемыми полями образуется узкая полоса, резко отличающаяся по светлоте и существенно снижающая точность фотометрирования.

В ходе опытов выяснялся вопрос о том, какие размеры полей должны быть выбраны, чтобы избежать влияния явлений контраста. С этой целью предварительно была проведена серия опытов при фиксированном значении яркостей  $B_0$  и  $B_1$  полей, но с изменением радиусов кружков. Было выяснено, что при диаметре кружков соответственно 100 и 60 мм и меньше результаты фотометрирования начинают заметно изменяться. При вариации диаметра кружков вне указанных границ результаты опытов остаются практически стабильными. Отсутствие влияния явлений контраста на результаты опытов проверялось также и с помощью бинокулярного фотометрирования. С этой целью один глаз с помощью бинокля адаптировался к внешнему полю вертушки, а другой — к внутреннему. В этом случае контраст принципиально не может повлиять, так как каждому глазу предъявляется однородная картина. Опыты показали, что установки получаются те же, хотя их точность значительно ниже.

Специальные опыты пришлось также выполнить с целью выяснения вопроса о том, какое время адаптации выбрать, чтобы практически достичь установившегося режима глаза. Для этого выборочно проводились опыты при различном времени адаптации. Было выяснено, что при длительности адаптации до 50-60 сек фотометрические установки существенно зависят от времени адаптации. При длительности адаптации в 100 и более секунд

получаемые установки практически остаются стабильными (в пределах точности эксперимента). Далее исследовалось влияние уровня освещения на характер фотометрических установок. Как следует из равенства (24), при пропорциональном изменении яркостей  $B_0$  и  $B_1$ , например, в  $\mu$  раз, в то же число раз должна измениться и яркость  $B_2$ :

$$\mu B_2 = (\mu B_1)^{k_a} \cdot (\mu B_0)^{1-k_a}. \quad (28)$$

Это означает, что изменение уровня освещения не должно влиять на исход опыта: светлотное равенство полей не должно нарушиться. И действительно, изменение освещенности диска в широких пределах (от 30 до 3000 лк) не привело к изменению угла  $\varphi_2$ , обеспечивающего светлотное равенство полей сравнения.

Опыты проводились на одном наблюдателе и повторялись многократно (не менее 10 раз) в течение месяца в различное время суток. Повторяемость исхода опытов хорошая, разброс результатов (если исключить явные промахи), как правило, не превышает 3÷4 делений. Если же опыты выполняются один за одним при одинаковых установках углов  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$ , то разброс в установке угла  $\varphi_2$ , как правило, не выходит за пределы одного деления. В табл. 1 в каждой ее ячейке слева от наклонной черты приведены средние значения угла  $\varphi_2$ , полученные в опыте для различных значений углов  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$ . Значения углов даны в делениях шкалы. Разброс результатов в замерах, представленных в таблице выше жирной линии, как правило, не выходил за пределы 1÷2 делений шкалы, в замерах, представленных ниже этой линии, разброс достигал 3÷6 делений.

Таблица 1

| $\varphi_1 \backslash \varphi_0$ | 2     | 4     | 8     | 16    | 32    | 64    | 96      | 128     |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 2                                | 2/2   | 3/3   | 4/4   | 6/6   | 8/8   | 10/11 | 13/14   | 15/16   |
| 4                                | 3/3   | 4/4   | 6/6   | 8/8   | 11/11 | 16/16 | 19/20   | 22/23   |
| 8                                | 5/4   | 7/6   | 8/8   | 11/11 | 16/16 | 22/23 | 28/28   | 32/32   |
| 16                               | 8/6   | 9/8   | 11/11 | 16/16 | 23/23 | 32/32 | 40/39   | 45/45   |
| 32                               | 10/8  | 12/11 | 17/16 | 23/23 | 32/32 | 45/45 | 55/55   | 64/64   |
| 64                               | 14/11 | 18/16 | 25/23 | 33/32 | 46/45 | 64/64 | 78/78   | 90/90   |
| 96                               | 17/14 | 22/20 | 30/28 | 40/39 | 55/55 | 78/78 | 96/96   | 111/111 |
| 128                              | 18/16 | 25/23 | 35/32 | 47/45 | 65/64 | 91/90 | 111/111 | 128/128 |

Справа от наклонной черты в ячейках таблицы вычислены теоретические значения угла  $\varphi_2$  по формуле (27) при значении постоянной статики адаптации  $k_a=0,50$ . В опытах, соответствующих ячейкам таблицы выше жирной линии, достигалось полное совпадение оттенков полей сравнений. В опытах, соответствующих ячейкам таблицы под жирной линией, оттенки можно было выровнять лишь по светлоте, так как поле, имеющее яркость  $B_2$ , приобретало легкий зеленоватый оттенок. На диаграмме рис. 5 кружками показаны экспериментальные данные, на них наложены теоретические

кривые. Расхождения между теорией и экспериментом не выходят за пределы ошибок опыта. Замена белых кружков цветными (красным, зеленым и желтым) не внесла существенных изменений в результаты опыта. По изложенной выше методике были дополнительно поставлены опыты на шести испытуемых. Характер результатов опытов остался прежним. Для различных испытуемых были отмечены лишь незначительные отличия в постоянной статики адаптации, значения которой не выходили за пределы  $k_a=0,45-0,60$ .

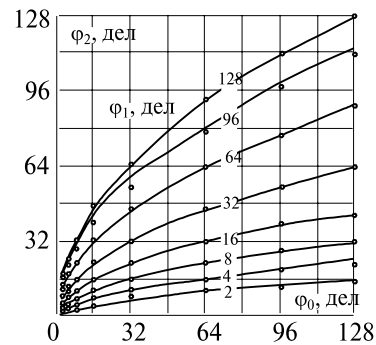


Рис. 5

### 3. Эксперименты по статике адаптации человеческого слуха

В предыдущем разделе были описаны опыты по исследованию статических реакций адаптационного аппарата и было установлено согласование реакций органа зрения с модельными реакциями. Поскольку свойство адаптации является общим для всех рецепторов, нам представилась заманчивой мысль проверить справедливость выводов, вытекающих из модели адаптации зрения, также на каком-либо другом рецепторе. В качестве объекта исследования был выбран орган слуха. Как и в случае зрения, проверке подлежало равенство:

$$B_2 = B_1^{k_a} \cdot B_0^{1-k_a}. \quad (29)$$

Теперь под сигналами  $B_0$ ,  $B_1$  и  $B_2$  следует понимать не яркость излучений, а интенсивность звука, измеряемую уровнем звукового давления. Если адаптационные реакции органа слуха будут подчиняться зависимости (29) так же хорошо, как и реакции органа зрения, то можно будет с большей уверенностью утверждать, что в основе адаптации различных органов чувств лежат одни и те же процессы переработки информации.

Адаптационные реакции органа слуха исследовались на специальной установке, схематически изображенной на рис. 6. В качестве входных сигналов слухового аппарата использовались гармонические колебания воздуха с частотой 500 гц. Эти колебания возбуждались телефонами типа «Октава», к которым подводилось синусоидально изменяющееся напряжение, формируемое с помощью

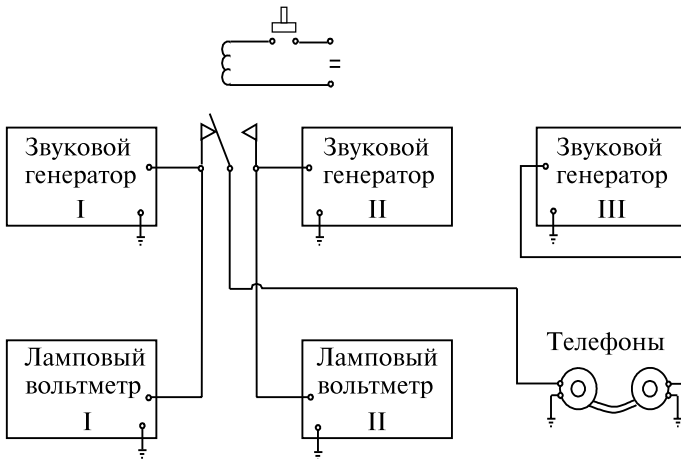


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для исследования статики адаптации слуха

генераторов электрических колебаний звуковой частоты — звуковыми генераторами. Всего в схеме использовано три генератора. Амплитуда колебаний, возбуждаемых каждым генератором, может регулироваться независимо от остальных. Напряжение, подводимое к телефонам, в опытах изменялось от 50 до 1050 мв. Этим напряжениям соответствует диапазон изменения звукового давления непосредственно на выходе телефона 0, 002-0, 060 бар. Напряжения, подводимые к телефонам, измерялись с помощью двух ламповых вольтметров. Погрешность измерений не превышала 1мв. Телефоны в пределах использованных напряжений имеют линейную характеристику: это значит, что звуковое давление, создаваемое телефоном, пропорционально амплитуде электрического сигнала.

Может возникнуть вопрос о том, что принять в качестве характеристики входного сигнала: его амплитуду или мощность. Ответ на этот вопрос, каким бы он ни был, не имеет в данном случае никакого значения. В самом деле, обозначим амплитуду колебаний звукового давления через  $B$ , а мощность — через  $P$ . Между этими величинами существует следующая связь [12]:

$$P = mB^2, \tag{30}$$

где  $m$  — коэффициент пропорциональности. Предположим, что равенство (29) выполняется, если под  $B$  понимать амплитуду звукового давления. Заменим теперь значения  $B_0, B_1, B_2$  на  $P_0, P_1, P_2$  согласно равенству (30). В результате получим:

$$\sqrt{\frac{P_2}{m}} = \left( \sqrt{\frac{P_1}{m}} \right)^{k_a} \cdot \left( \sqrt{\frac{P_0}{m}} \right)^{1-k_a}, \tag{31}$$

а после преобразований приходим к соотношению

$$P_2 = P_1^{k_a} \cdot P_0^{1-k_a}, \tag{32}$$

имеющему такой же вид, что и первоначальное равенство (29). Таким образом, если справедливо

равенство (29), то будет выполняться также и условие (32) и наоборот. В дальнейшем уровень входного сигнала будем характеризовать амплитудой напряжения электрических колебаний, подводимых к телефону, измеряя его в милливольтках.

Во время проведения опыта на одно (левое) ухо длительно подавался сигнал с амплитудой  $B_1$ , на второе (правое) ухо в это время подавался сигнал с амплитудой  $B_0$ . Длительность действия этих сигналов должна быть достаточной для полной адаптации обоих слуховых анализаторов испытуемого к соответствующим сигналам, эта длительность была принята равной 60 сек. Как показали специальные дополнительные опыты, увеличение длительности действия сигналов  $B_0$  и  $B_1$  до 100 сек и более практически не влияет на результаты эксперимента. Сигналы  $B_1$  и  $B_0$  создавались соответственно первым и третьим звуковыми генераторами. Амплитуда  $B_1$  сигнала, поступающего в левое ухо, измерялась первым ламповым вольтметром (рис. 6).

Первоначально амплитуда  $B_0$  сигнала, поступающего в правое ухо, измерялась третьим ламповым вольтметром, не показанным на схеме. Однако это оказалось методически неправильным. Дело в том, что левый и правый телефоны обладают хотя и близкими, но все же не вполне одинаковыми передаточными характеристиками, а это приводит к тому, что испытуемый улавливает различие сигналов по громкости при одинаковых значениях электрических амплитуд  $B_1$  и  $B_0$ . В связи с этим пришлось отказаться от измерений амплитуды третьим вольтметром. Уровень  $B_0$  сигнала, поступающего в правое ухо дозировался теперь следующим образом: сначала на этот уровень по первому вольтметру регулировался сигнал для левого уха, а затем регулировался уровень сигнала для правого уха до получения испытуемым одинаковых слуховых ощущений от обоих ушей. При этом сам испытуемый выполнял роль нулевого прибора. Дифференциальный порог (зона нечувствительности) таких установок невелика и лежит в пределах 2-3%. Возможным фактором, искажающим результаты описанных выше субъективных выравниваний громкости сигналов, мог оказаться диспложизис (неодинаковая чувствительность) ушей испытуемого. Для выявления диспложизиса был проведен специальный дополнительный опыт, в котором телефоны менялись местами. Несмотря на такую замену, установки на равенство, делаемые испытуемым, практически не изменились. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что диспложизис ушей испытуемого находился в пределах дифференциального порога и поэтому не мог



существенно исказить результаты описываемых ниже опытов.

Для более глубокой проверки справедливости условия (29) желательно было варьировать отношение амплитуд  $B_1/B_0$  как можно в более широких пределах. Однако здесь приходится считаться с явлением костной проводимости звука [13]. Если отношение  $B_1/B_0$  будет очень большим, то громкий сигнал  $B_1$ , ввиду костной проводимости, будет действовать в ослабленной форме также на другое ухо, где в это время действует тихий сигнал, и это может существенно исказить результаты экспериментов. В связи с этим пришлось ограничить отношение  $B_1/B_0$  величиной не более 20. Как будет показано ниже, уже при отношении  $B_1/B_0=20$  возникает подозрение о существенном искажающем влиянии костной проводимости на результаты экспериментов. Это обстоятельство привело к ограничению диапазона изменения амплитуд звуковых сигналов пределами от 50 до 1050 мв.

По истечении 60 сек уровень сигнала, поступающего в левый телефон, скачкообразно меняется со значения  $B_1$  на значение  $B_2$ . Сигнал  $B_0$ , подаваемый в правый телефон, продолжает оставаться неизменным. Скачкообразное изменение сигнала левого телефона осуществляется с помощью специального реле (рис. 6), срабатывающего от кнопки, нажимаемой испытуемым. Это реле переключает левый телефон с генератора 1 на генератор 3, предварительно настроенный на заданную частоту и амплитуду. В процессе постановки эксперимента выявилась серьезная помеха в виде щелчка, возникающего в момент переключения за счет появления искры между контактами реле. Этот щелчок сильно дезориентирует испытуемого, в связи с чем резко снижается точность установки субъективных громкостей на равенство. Для устранения этого недостатка пришлось дополнить экспериментальную установку специальной электрической сглаживающей схемой.

Согласно идее эксперимента, испытуемый должен так подрегулировать громкость  $B_2$ , чтобы в первый момент после переключения сигналы  $B_2$  и  $B_0$  имели одинаковую субъективную громкость. Однако на практике для осуществления сравнения требуется, чтобы сигнал  $B_2$  длился около 1÷2 сек. Если обрывать сигнал  $B_2$  через 0, 5 сек после его возникновения, то испытуемый резко снизит точность своих установок на равенство. Конечность времени сравнения звучания сигналов  $B_2$  и  $B_0$  также является источником неучтенных погрешностей, поскольку за это время произойдут определенные изменения чувствительности левого уха за счет его адаптации. Опыт с регулировкой громкости  $B_2$  повторялся многократно. Исходя из слыши-

мого уровня громкости сигнала  $B_2$  по отношению к уровню громкости сигнала  $B_0$  (громче или тише), испытуемый соответственно уменьшал или увеличивал громкость сигнала  $B_2$  для следующей пробы. Испытуемый имел доступ к ручке регулятора громкости сигнала  $B_2$ , однако показаний приборов он не видел. Испытуемый поворачивал ручку, по памяти учитывая результаты предыдущего эксперимента. Перед каждой новой пробой, без ведома испытуемого, менялось положение ручки регулятора относительно ее оси, чтобы воспрепятствовать испытуемому устанавливать ее, отправляясь от установки, найденной в предыдущем опыте.

Испытуемый пользовался следующей методикой отыскивания установки сигналов на равенство по слышимой громкости. Сначала он отыскивал такие два положения ручки, когда при одном из них звук слышался явно более громким в левом ухе, а при другом — более громким в правом ухе. Затем испытуемый постепенно сужал интервал изменения сигнала  $B_2$  пока, наконец, не находил положение ручки регулятора, соответствующее середине зоны нечувствительности. Находясь в пределах зоны нечувствительности, испытуемый отмечает потерю направления звучания (слева или справа), ему кажется, что источник звука находится не извне, а непосредственно в голове.

Подобная серия опытов по установке громкости на слышимое равенство повторялась по 6 раз для каждой пары значений громкости  $B_1$  и  $B_0$ . Разброс получаемых значений громкости  $B_2$ , как правило, не выходил за пределы 10%, а зачастую находился в пределах 5% от  $B_2$ . В приводимых ниже таблицах указывается среднее значение из шести измерений. Все опыты проводились на одном испытуемом. Найденные значения громкости  $B_2$  в милливольтах для различных пар сигналов  $B_1$  и  $B_0$  даны в табл. 2. Из соотношения (29) вытекает следующее равенство для определения постоянной статической адаптации слуха:

$$k_a = \frac{\lg \frac{B_2}{B_0}}{\lg \frac{B_1}{B_0}}. \quad (33)$$

По этой формуле подсчитаны значения  $k_a$  для каждого опыта, помещенного в табл. 2. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

Среднее значение коэффициента  $k_a$ , вычисленное для всех значений табл. 3, равно  $k_a = 0,7$ , среднее отклонение  $\Delta k = 0,04$ , то есть составляет всего 6%. Как видим из табл. 3, отдельные значения постоянной статической адаптации слуха весьма близки к среднему значению, незначительно отличаются от него. На рис. 7 представлены экспериментальные диаграммы, построенные по данным табл. 2.

Таблица 2

| $B_1, \text{мВ}$<br>$B_0, \text{мВ}$ | 50  | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 50                                   | 50  | 77  | 115 | 143 | 190 | 227 | 263 | 282 | 300 | 330 | 350  | —    | —    |
| 100                                  | 75  | 100 | 150 | 193 | 242 | 287 | 338 | 378 | 420 | 450 | 483  | —    | —    |
| 200                                  | 88  | 127 | 200 | 255 | 335 | 377 | 440 | 477 | 538 | 573 | 613  | 675  | 705  |
| 300                                  | 99  | 132 | 222 | 300 | 358 | 435 | 484 | 547 | 587 | 650 | 714  | 747  | 785  |
| 500                                  | 100 | 150 | 267 | 343 | 422 | 500 | 551 | 621 | 690 | 752 | 812  | 870  | 922  |
| 800                                  | 120 | 180 | 294 | 380 | 480 | 575 | 663 | 722 | 800 | 861 | —    | —    | 1052 |

Таблица 3

| $B_1, \text{мВ}$<br>$B_0, \text{мВ}$ | 50   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  | 800  | 900  | 1000 | 1100 | 1200 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50                                   | —    | 0,62 | 0,60 | 0,59 | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | —    | —    |
| 100                                  | 0,41 | —    | 0,58 | 0,61 | 0,64 | 0,66 | 0,68 | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | —    | —    |
| 200                                  | 0,59 | 0,66 | —    | 0,60 | 0,74 | 0,69 | 0,72 | 0,70 | 0,72 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,70 |
| 300                                  | 0,62 | 0,75 | 0,74 | —    | 0,62 | 0,73 | 0,69 | 0,71 | 0,68 | 0,70 | 0,72 | 0,70 | 0,69 |
| 500                                  | 0,70 | 0,75 | 0,68 | 0,73 | 0,75 | —    | 0,54 | 0,65 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| 800                                  | 0,68 | 0,72 | 0,72 | 0,76 | 0,74 | 0,71 | 0,65 | 0,76 | —    | 0,71 | —    | —    | 0,67 |

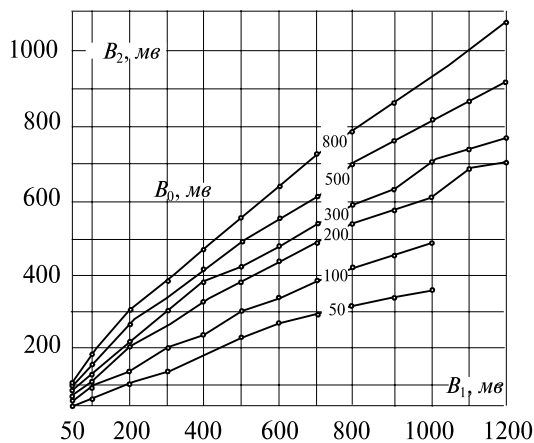


Рис. 7

Теоретические диаграммы, вычисленные при  $k_a = 0,7$  по формуле (29), построены на рис. 8. Сравнение теоретических и экспериментальных кривых указывает на хорошее качественное согласование теории с опытом: теоретические кривые имеют такой же характер, как и экспериментальные. Имеет место также хорошее количественное согласование теории с опытом: верхние пять теоретических кривых практически точно проходят по экспериментальным точкам при наложении теоретической диаграммы на экспериментальную. Исключение составляет нижняя теоретическая кривая (для  $B_0 = 50$  мВ), которая проходит заметно выше экспериментальных точек.

Особенно велико это различие в зоне больших значений  $B_1$ , где оно достигает 50 мВ. Мы не склонны видеть в этом различии указание на несогласование теории с опытом. Скорее всего, здесь действует источник каких-то не устраненных сис-

тематических ошибок эксперимента. Приходится снова вспомнить о костной проводимости звука, которая в данном случае как раз больше всего могла сказаться и дать отклонение именно в ту сторону, в которую фактически сместились результаты эксперимента. Оценивая же в целом результат эксперимента, мы приходим к выводу о вполне удовлетворительном согласовании теории с опытом, свидетельствующем о справедливости формулы (29).

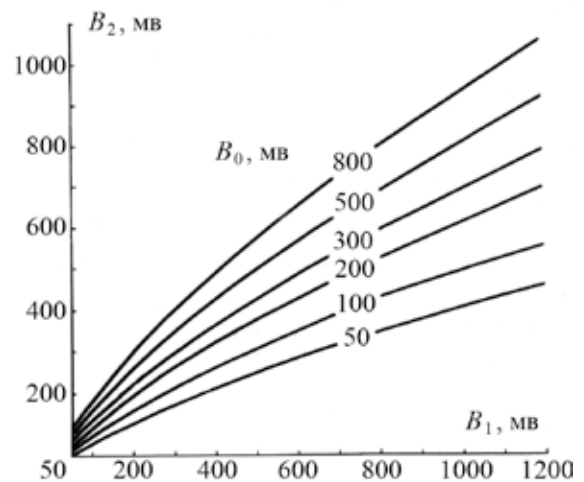


Рис. 8

Для полной завершенности исследования необходимо было также выяснить, что покажет эксперимент при другой частоте входных сигналов. С этой целью был поставлен опыт на входных синусоидальных сигналах, имеющих частоту 800 гц. Уровень сигнала  $B_0$  был выбран равным 100 мВ. Эксперименты проводились на описанной выше установке по той же методике. Полученная в опыте

зависимость сигнала  $B_2$  и  $B_1$  дана в табл. 4. В третьей строке таблицы помещены вычисленные по формуле (33) значения параметра  $k_a$ . Как видим, коэффициент  $k_a$  почти в точности сохраняет постоянную величину, которая весьма близка к найденному ранее значению 0, 7. Это значит, что и в этом случае справедливость равенства (29) подтверждается на опыте, а значение постоянной статики адаптации слуха сохраняет прежнее значение 0, 7. Нельзя не отметить целесообразный смысл, легко усматриваемый в факте постоянства значений величины  $k_a$  для звуков различной частоты. Такое постоянство означает, что уровень адаптации слуха не влияет на соотношения субъективных громкостей отдельных компонентов в сложном звуке. Очевидно, что отсутствие такого свойства слуха существенно затруднило бы распознавание сложных звуков, в том числе и звуков человеческой речи. Описанные выше опыты были повторены еще на пяти испытуемых. Результаты опытов полностью аналогичны. Отмечаются лишь незначительные для различных испытуемых колебания постоянной статики адаптации слуха в пределах  $k_a = 0, 60-0, 70$ .

Таблица 4

|            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $B_1$ , мВ | 200   | 300   | 400   | 500   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  |
| $B_2$ , мВ | 165   | 213   | 255   | 297   | 317   | 385   | 400   | 450   | 500   |
| $k_a$      | 0, 73 | 0, 69 | 0, 68 | 0, 68 | 0, 65 | 0, 69 | 0, 67 | 0, 69 | 0, 70 |

#### 4. Построение статического преобразования яркости в светлоту

В предыдущих разделах статьи из математической модели адаптации зрения было выведено одно следствие в виде формулы (24) и получено его экспериментальное подтверждение в опытах со зрением и слухом. В этом разделе выводится еще одно следствие из модели адаптации зрения, которое сопоставляется с данными психофизического эксперимента. Затем чисто логически из этих двух следствий модели выводится зависимость статического преобразования яркости в светлоту. Эта зависимость имеет вид степенной функции. Введем в рассмотрение два уровня светлоты  $S_I$  и  $S_{II}$ . Разделим светлотный интервал  $[S_I, S_{II}]$  светлотой  $S$  в отношении  $\lambda$ . В этом случае светлота  $S$  будет равна:

$$S = (1-\lambda)S_I + \lambda S_{II}. \quad (34)$$

Подберем яркости  $B_I$ ,  $B_{II}$  и  $B$  так, чтобы в первый момент их предъявления наблюдателю, зрение которого адаптировано к некоторой произвольно выбранной яркости  $B_a$ , у него возникли зрительные ощущения со светлотой соответственно  $S_I$ ,  $S_{II}$  и  $S$ .

Исходя из принятой модели адаптации зрения, установим связь между яркостями  $B_I$ ,  $B_{II}$  и  $B$ . Применяя к рассматриваемому случаю формулу (22),

запишем выражения для определения светлот  $S_I$ ,  $S_{II}$  и  $S$  по яркости  $B_I$ ,  $B_{II}$ ,  $B$  и  $B_a$ :

$$S_I = r(dB_I)^c \cdot (dB_a)^{-k_a c} + s, \quad (35)$$

$$S_{II} = r(dB_{II})^c \cdot (dB_a)^{-k_a c} + s, \quad (36)$$

$$S = r(dB)^c \cdot (dB_a)^{-k_a c} + s. \quad (37)$$

Подставляя найденные значения светлот  $S_I$ ,  $S_{II}$  и  $S$  в формулу (34), получим:

$$B^c = (1-\lambda)B_I^c + \lambda B_{II}^c. \quad (38)$$

Полученная формула дает нам искомую связь между яркостями  $B_I$ ,  $B_{II}$  и  $B$ , порождающими соответственно светлоты  $S_I$ ,  $S_{II}$  и  $S$ , связанные соотношением (34).

Зависимость (38), являясь следствием из математической модели адаптации зрения, допускает экспериментальную проверку. Постановка опыта возможна благодаря тому, что сознание наблюдателя способно выполнять операцию деления пополам любого светлотного интервала.

Эту способность легко продемонстрировать с помощью следующего опыта. Наблюдателю предъявляют три рядом расположенных поля, имеющих яркости  $B_I$ ,  $B$  и  $B_{II}$  (рис. 9), и предлагается установить, является ли светлота  $S$  центрального поля средней по отношению к светлотам  $S_I$  и  $S_{II}$  боковых полей или нет. Испытуемый легко справляется с поставленной задачей, показания его достаточно стабильны. Правда, точность такого рода установок значительно ниже тех, при которых сознание используется в качестве нулевого прибора. Основываясь на опыте установок такого рода, можно оценить зону нечувствительности при нахождении средней светлоты в размере около 10% от величины светлотного интервала.

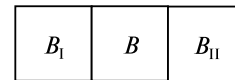


Рис. 9

Множественно используя прием деления светлотного интервала пополам, мы получаем возможность разделить произвольный промежуток светлоты в любом, практически доступном на опыте, отношении  $\lambda$ , то есть выполнить требование (34). Если модель адаптации верна, то получаемые из опыта яркости  $B_I$ ,  $B_{II}$  и  $B$  должны находиться в отношении, указываемом соотношением (38). Перейдем в равенстве (38) от яркостей  $B_I$ ,  $B_{II}$  и  $B$  к коэффициентам отражения  $\rho_I$ ,  $\rho_{II}$  и  $\rho$  соответствующих наблюдаемых поверхностей, используя зависимости:

$$B_I = \rho_I B_0; B_{II} = \rho_{II} B_0; B = \rho B_0, \quad (39)$$

где  $B_0$  — яркость идеально белой поверхности, про-

порциональная освещенности полей. Подставляя (39) в (38), будем иметь:

$$\rho^c = (1-\lambda)\rho_I^c + \lambda\rho_{II}^c. \quad (40)$$

Из формулы (40) следует, что результат деления светлотного интервала в отношении  $\lambda$  не зависит от уровня освещения в том смысле, что при любом уровне освещения мы должны прийти к полю с одним и тем же коэффициентом отражения. Это значит, что однажды найденная установка не нарушится при произвольном изменении уровня освещения. И действительно, опыты показывают, что накраска, выглядящая средней по светлоте по отношению к двум другим накраскам, останется средней, несмотря на изменение уровня освещения в широких пределах. О наличии такого свойства свидетельствует также простой опыт рассматривания ряда светлот в каком-либо цветовом атласе (например, атласе Менселла). Такой ряд выглядит равноступенным при любом уровне дневного освещения.

Соотношение (40) допускает непосредственную проверку экспериментом. Для такой проверки целесообразно использовать черно-белый ряд оттенков, устанавливаемый атласом Менселла. Это связано с тем, что указанный ряд оттенков был получен именно по методу деления светлотных интервалов пополам без привлечения каких-либо побочных соображений. Кроме того, атлас Менселла выгодно отличается от многих других атласов исключительной тщательностью изготовления. Для экспериментальной проверки формулы (40) была использована светлотная шкала, рекомендуемая атласом Менселла издания 1929 г. [14], в виде рядов коэффициентов отражения ахроматических накрасок. Кроме того, использовался ряд коэффициентов отражения, рекомендуемый для атласа Менселла в более поздней работе [15], изданной в 1943 г. Значения коэффициентов отражения  $\rho$  в зависимости от номера накраски  $N$  даны в ячейках табл. 5 в числителе дроби.

Номер накраски  $N$  линейно связан с уровнем светлоты, а следовательно и с параметром  $\lambda$ :

$$\lambda = pN + q, \quad (41)$$

где  $p$  и  $q$  — некоторые постоянные коэффициенты. Для определения численного значения этих коэффициентов необходимо учесть, что:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0 \text{ при } N=1, \\ \lambda &= 1 \text{ при } N=9. \end{aligned} \quad (42)$$

Подставляя (42) в (41), получаем систему уравнений относительно  $p$  и  $q$ :

$$\begin{aligned} p + q &= 0, \\ 9p + q &= 1, \end{aligned} \quad (43)$$

решая которую, находим:

$$p = \frac{1}{8}, q = -\frac{1}{8}. \quad (44)$$

С учетом (44) равенство (41) запишется в виде:

$$\lambda = \frac{1}{8}N - \frac{1}{8}. \quad (45)$$

Подставляя (45) в (40), будем иметь:

$$\rho = \left(\frac{1}{8}(\rho_{II}^c - \rho_I^c)N + \rho_I^c - \frac{1}{8}(\rho_{II}^c - \rho_I^c)\right)^{\frac{1}{c}}. \quad (46)$$

Равенство (46) представляет собой теоретически рассчитанную зависимость коэффициента отражения  $\rho$  от номера накраски  $N$ . Принимая в качестве  $\rho_I$  и  $\rho_{II}$  значение  $\rho$  соответственно при  $N=1$  и  $N=9$ , запишем равенство (46) в виде:

для данных 1929 года:

$$\begin{aligned} \rho = & \left(\frac{1}{8}(0,7280^c - 0,0112^c)N + 0,0112^c - \right. \\ & \left. - \frac{1}{8}(0,7280^c - 0,0112^c)\right)^{\frac{1}{c}}, \end{aligned} \quad (47)$$

для данных 1943 года:

$$\begin{aligned} \rho = & \left(\frac{1}{8}(0,7866^c - 0,0121^c)N + 0,0121^c - \right. \\ & \left. - \frac{1}{8}(0,7866^c - 0,0121^c)\right)^{\frac{1}{c}}. \end{aligned} \quad (48)$$

Значения коэффициентов отражения, вычисленные по формулам (47) и (48) при  $c = 0,35$ , представлены в ячейках табл. 5 в знаменателе дроби. Как видим, имеет место согласование теории с опытом. Имеющиеся отклонения теории от опытных данных вряд ли выходят за пределы точности экспериментов, лежащих в основе построения светлотной шкалы атласа Менселла.

На диаграмме рис. 10 дано сравнение экспериментальных данных (кружки) и теоретических

Таблица 5

| Год издания | $N$        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1929        | $\rho, \%$ | 1,12  | 2,90  | 5,95  | 11,05 | 18,00 | 27,30 | 38,90 | 53,60 | 72,80 |
|             |            | 1,12  | 3,01  | 6,27  | 11,2  | 18,2  | 27,6  | 39,6  | 54,6  | 72,8  |
| 1943        | $\rho, \%$ | 1,210 | 3,126 | 6,555 | 12,0  | 19,77 | 30,05 | 43,06 | 59,10 | 78,60 |
|             |            | 1,21  | 3,25  | 6,78  | 12,2  | 19,7  | 29,8  | 42,8  | 59,0  | 78,6  |

подсчетов (линии). Накраски атласа Менселла охватывают практически весь возможный диапазон изменения коэффициентов отражения для любых реальных поверхностей тел. Это означает справедливость зависимости (40) без каких-либо существенных ограничений. Итак, опытом подтверждена справедливость зависимости (40), а следовательно и зависимости (38). Равенства (24) и (38), первоначально полученные лишь как следствия из модели адаптационного преобразования яркости в светлоте, после подтверждения их опытом, приобретают силу экспериментально установленных закономерностей. Выполнение этих соотношений теперь уже не зависит от того, верна или нет исходная модель.

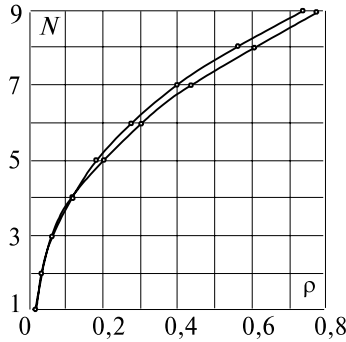


Рис. 10

Основываясь лишь на этих соотношениях без привлечения каких-либо дополнительных данных, можно чисто логически установить вид статической зависимости светлоты от яркости. Установим сначала вид этой зависимости в случае, когда светлота  $S$  определяется яркостью  $B$ , к которой глаз был предварительно адаптирован. Пусть наблюдатель, глаз которого адаптирован к яркости  $S_a$ , воспринимает затем яркости  $B_*$ ,  $B_{1*}$ ,  $B_{2*}$ . Соответствующие этим яркостям уровни светлоты, возникающие в первый момент наблюдения, обозначим через  $S$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ . Если бы эти же светлоты возникали при условии полной адаптации глаза к наблюдаемым яркостям, то уровни яркости были бы иными. Обозначим их через  $B$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ .

Выразим яркости  $B_*$ ,  $B_{1*}$ ,  $B_{2*}$  через яркости  $B$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_a$ , используя зависимость (24):

$$B_* = B_a^{k_a} \cdot B^{1-k_a}, \quad (49)$$

$$B_{1*} = B_a^{k_a} \cdot B_1^{1-k_a}, \quad (50)$$

$$B_{2*} = B_a^{k_a} \cdot B_2^{1-k_a}. \quad (51)$$

Будем полагать, что  $S_1 \leq S \leq S_2$ . Светлота  $S$  делит интервал  $(S_1, S_2)$  в некотором отношении, которое обозначим через  $\lambda$ . Тогда по определению (формула (34)):

$$S = (1-\lambda)S_1 + \lambda S_2. \quad (52)$$

Согласно равенству (38) яркости  $B_*$ ,  $B_{1*}$ ,  $B_{2*}$  связаны соотношением:

$$B_* = (1-\lambda)B_{1*}^c + \lambda B_{2*}^c. \quad (53)$$

Подставляя значения  $B_*$ ,  $B_{1*}$ ,  $B_{2*}$ , определяемые формулами (49)-(51), в (53), в результате получим:

$$B^{c(1-k_a)} = (1-\lambda)B_1^{c(1-k_a)} + \lambda B_2^{c(1-k_a)}. \quad (54)$$

Определяем значение  $\lambda$  из последнего равенства:

$$\lambda = \frac{B^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}}{B_2^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}} \quad (55)$$

и подставляем его в формулу (52):

$$S = \left(1 - \frac{B^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}}{B_2^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}}\right) S_1 + \frac{B^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}}{B_2^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}} \cdot S_2. \quad (56)$$

После преобразований будем иметь:

$$S = r(dB)^{c(1-k_a)} + s, \quad (57)$$

где

$$r = S_2 - S_1, \quad (58)$$

$$d = \frac{1}{(B_2^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)})^{\frac{1}{c(1-k_a)}}}, \quad (59)$$

$$s = \frac{S_1 B_2^{c(1-k_a)} - S_2 B_1^{c(1-k_a)}}{B_2^{c(1-k_a)} - B_1^{c(1-k_a)}}. \quad (60)$$

Будем рассматривать  $B$  и  $S$  как переменные величины, а величины  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  зафиксируем. Тогда  $r$ ,  $d$ ,  $s$  превратятся в некоторые константы, а выражение (57) даст искомую связь между светлотой и яркостью в случае, когда глаз адаптирован на ту же яркость. Заметим, что равенство (57) устанавливает степенную зависимость светлоты от яркости, предлагавшуюся ранее в ряде работ [7÷10]. Степенная зависимость (57) имеет показатель, численное значение которого равно:

$$c(1-k_a) = 0,35(1-0,50) = 0,175. \quad (61)$$

Постоянные  $r$ ,  $d$ ,  $s$  не имеют характера истинных констант зрения, значение постоянной  $d$  определяется выбором единицы измерения для яркости, а значение постоянных  $r$ ,  $s$  — выбором единицы измерения и нулевого значения для светлоты.

Пусть теперь светлота  $S$  оценивается в первый момент наблюдения яркости  $B_*$  после адаптации глаза к яркости  $B_a$ . Из равенства (49) определим значение  $B$ :

$$B = B_*^{\frac{1}{1-k_a}} \cdot B_a^{\frac{k_a}{1-k_a}} \quad (62)$$

и подставим его в формулу (57). В результате полу-

чим следующее выражение, дающее искомую связь между светлотой и яркостью  $B$ , воспринимаемой в первый момент времени после адаптации глаза к яркости  $B_a$ :

$$S = \frac{r}{(dB_a)^{ck_a}} \cdot (dB)^c + s. \quad (63)$$

Следовательно, и в этом случае зависимость светлоты от яркости — степенная, однако с иным показателем

$$c = 0,35. \quad (64)$$

Важно подчеркнуть, что степень соответствия соотношений (57) и (63) с фактическим положением дела не зависит от того, верна ли исходная модель адаптации зрения, а лишь от того, насколько точно описывают реакции зрительного анализатора формулы (24) и (38).

### Выводы

Построена математическая модель адаптации человеческого зрения. Исследованы реакции модели адаптации на скачок яркости зрительной картины. В результате получена зависимость

$$B_2 = B_1^{k_a} \cdot B_0^{1-k_a}, \quad (24)$$

допускающая экспериментальную проверку. Выполнены эксперименты, подтверждающие справедливость равенства (24) для человеческого зрения. Определено численное значение постоянной статистики адаптации человеческого зрения, равное  $k_a=0,50$ . Выполнены эксперименты, подтверждающие справедливость равенства (24) для человеческого слуха. Найдено значение постоянной статистики адаптации человеческого слуха, равное  $k_a=0,70$ . Исследованы реакции модели адаптации при делении светлотно-го интервала в заданном отношении. В результате получена зависимость:

$$B^c = (1-\lambda)B_I^c + \lambda B_{II}^c. \quad (38)$$

Осуществлено сопоставление зависимости (38) с известными экспериментальными данными и получено ее опытное подтверждение. Из соотношений (24) и (38), используемых в качестве экспериментальных постулатов, выведен вид зависимости статического преобразования яркости в светлоту. Зависимость светлоты от яркости имеет вид степенной функции:

$$S = r(dB)^{c(1-k_a)} + s. \quad (57)$$

Из соотношений (24) и (38) выведен также вид зависимости светлоты от яркости, воспринимаемой в первый момент времени после адаптации глаза к иной яркости. Эта зависимость имеет вид:

$$S = \frac{r}{(dB_a)^{ck_a}} \cdot (dB_*)^c + s. \quad (63)$$

**Список литературы:** 1. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Модели цветового зрения // Бионика интеллекта. — 2006. — № 1. — С. 27-41. 2. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко С.Ю., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Модель сглаживания в зрении // Бионика интеллекта. — 2007. — № 1. — С. 3-14. 3. Мешков В.В. Основы светотехники, ч. 1. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. 4. Коробко Б.Г. О зрительной темновой адаптации. — Л.: Медгиз, 1958. 5. Weber E.H. Tastsinn und Gemeingefuhl // Wagner's Handbuch der Physiologie. — 1846, Bd. 3. 6. Fechner G.T. Elemente der Psychophysik. — 1860. 7. Мешков В.В. Светлота и яркость // Светотехника. — 1958. — № 12. 8. Hopkins R. Appraisal of Brightness. // Jll. Eng. — 1957. — № 4. 9. Le Grand J. Optique physiologique. — 1954. — Т. 2. 10. Экспериментальная психология / Под ред. С.С. Стивенса: Пер. с англ. — М.: ИЛ, 1963. 11. Лазарев П.П. Исследования по адаптации. — М.: Изд-во АН СССР, 1947. 12. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. — М.: Связьиздат, 1960. 13. Слух и речь в свете современных физических исследований. — М.-Л.: ОНТИ, 1936. 14. Munsell book of color. — Baltimore. Standard edition, 1929. 15. Newhall S.M., Nickerson D., Judd D.B. Final report of the OSA subcommittee on the spacing of the Munsell colors. // JOSA. — 1943. — V. 33, № 7.

Поступила в редколлегию 24.09.2007

УДК 519.7

**МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ АДАПТАЦИИ ОРГАНОВ ЧУВСТВ**

М.Ф. Бондаренко<sup>1</sup>, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина



В статье исследованы динамические реакции модели адаптации зрения на различные виды входных сигналов. Представлены диаграммы, дающие представление о характере изменения яркости и светлоты зрительного ощущения во времени. Приведен анализ опытов Криса и формально описана выявленная зависимость. Исследованы ступенчатые реакции модели адаптации зрения.

**МОДЕЛЬ АДАПТАЦИИ ЗРЕНИЯ, СКАЧОК ЯРКОСТИ, ОПЫТЫ КРИСА**

**Введение**

В этой статье мы продолжим рассмотрение вопросов адаптации зрения. В отличие от предыдущей статьи [1], в которой рассматривались статические реакции модели адаптации, теперь нас будет интересовать динамика адаптационного процесса. Как и прежде, будем исходить из модели адаптации зрения в виде системы уравнений:

$$Q = c \lg dB; \tag{1}$$

$$m \frac{dT}{dt} + T = k_a Q; \tag{2}$$

$$R = Q - T; \tag{3}$$

$$S = r \cdot 10^R + s. \tag{4}$$

В случае, когда сигнал  $Q(t)$  изменяется во времени по произвольному закону, решение уравнения (2) запишется в виде:

$$T(t) = \frac{k_a}{m} \int_{-\infty}^t Q(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{m}} d\tau. \tag{5}$$

**1. Исследование модели адаптации зрения на скачок яркости**

Подадим на вход модели адаптации ступенчатый сигнал:

$$B = \begin{cases} B_1 & \text{при } t < 0, \\ B_2 & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \tag{6}$$

В этом случае светлота зрительного ощущения опделится зависимостью (4), где

$$R(t) = \begin{cases} (1 - k_a) c \lg dB_1 & \text{при } t < 0, \\ (1 - k_a) c \lg dB_2 + k_a c \lg \frac{B_2}{B_1} e^{-\frac{t}{m}} & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \tag{7}$$

На рис. 1 а и б представлены диаграммы, дающие представление о характере изменения яркости зрительной картины и светлоты зрительного ощущения во времени. Из диаграммы видим, что сразу же после изменения яркости зрительной картины с низкого уровня на высокий наблюдается скачкообразный рост светлоты зрительного ощущения. Однако в

дальнейшем уровень светлоты постепенно снижает-ся к некоторому установившемуся значению. Такая же, по крайней мере в качественном отношении, картина изменения светлоты наблюдается и в про-цессе адаптации органа зрения.

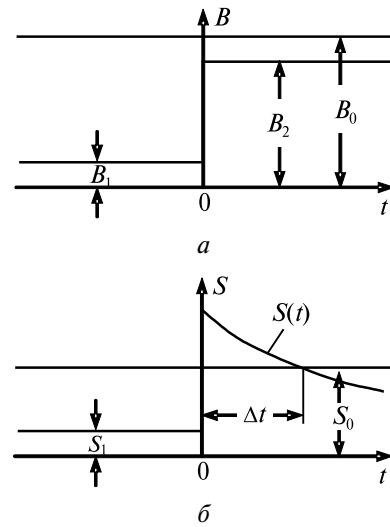


Рис. 1

Модель адаптации можно было бы легко про-верить на опыте, если бы мы имели возможность записать осциллограмму изменения светлоты зрительного ощущения во времени в ответ на скачок яркости. Однако, к сожалению, сознание наблюдателя не удастся использовать в роли доста-точно точного самопишущего прибора, поэтому осуществить такой прямой опыт затруднительно. В то же время известно, что сознание может быть использовано в качестве очень точного нулевого прибора, отмечающего равенство или неравенство светлот двух полей сравнения. Это обстоятельство мы и используем при экспериментальной проверке модели адаптации зрения.

Эксперимент можно осуществить следующим образом. Пусть имеются два смежных поля срав-нения (рис. 2). Наблюдатель длительно фиксирует точку о на линии раздела полей. На левое поле вначале длительно подается яркость  $B_1$ , которая в момент времени  $t = 0$  сменяется большей яркостью  $B_2$ . На правое поле постоянно подается некоторая

яркость сравнения  $B_0$ , выбираемая с таким расчетом, чтобы было  $B_0 > B_2$  (рис. 1 а).

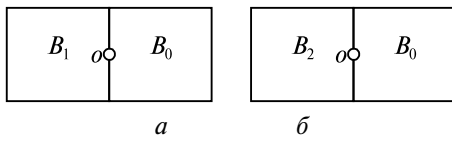


Рис. 2

При  $t > 0$  испытуемый будет отмечать на левом поле постепенное изменение светлоты  $S(t)$  во времени. Если яркость  $B_0$  правого поля выбрана не слишком большой, то в некоторый момент времени  $t = \Delta t$  светлота  $S(\Delta t)$  левого поля сравняется со светлотой правого поля  $S_0$ :

$$S_0 = S(\Delta t). \tag{8}$$

Другим уровням светлоты  $S_0$  правого поля будут соответствовать иные значения времени  $\Delta t$ , при котором произойдет выравнивание светлоты полей сравнения. С помощью такого эксперимента может быть обследован весь переходный адаптационный процесс, происходящий при скачкообразном изменении яркости зрительной картины.

Установим, исходя из модели адаптации, в каком соотношении должны находиться яркости  $B_0, B_1, B_2$ , и время  $\Delta t$ . Согласно модели светлота  $S_0$  равна:

$$S_0 = r10^{(1-k_a)c \lg dB_0} + S. \tag{9}$$

Для светлоты  $S(\Delta t)$ , используя равенства (6) и (7), при  $t = \Delta t > 0$  найдем:

$$S(\Delta t) = r10^{(1-k_a)c \lg dB_2 + k_a c \lg \frac{B_2}{B_1} e^{-\frac{\Delta t}{m}} + S}. \tag{10}$$

Подставляя (9) и (10) в (8), имеем:

$$\Delta t = m \ln \left( \frac{k_a}{1-k_a} \cdot \frac{\lg \frac{B_1}{B_2}}{\lg \frac{B_2}{B_0}} \right) \tag{11}$$

Полученная зависимость допускает непосредственную проверку опытом. Ниже описываются выполненные с этой целью эксперименты. Опыты выполнялись на вертушке, описанной в работе [1] при освещенности 130 лк. Отличие методики проведения опытов состояло лишь в том, что яркость  $B_0$  принималась несколько иной по сравнению с той, которая обеспечивает равенство светлот в первый момент времени после скачка яркости. Теперь равенство светлот полей сравнения отмечалось испытуемым через некоторый промежуток времени  $\Delta t$  после скачка яркости. Это время фиксировалось испытуемым с помощью секундомера. Эксперименты, как и прежде, выполнялись на одном испытуемом и повторялись многократно (не менее 10 раз). В расчет принимались средние значения времени  $\Delta t$ . Разброс

в значениях времени  $\Delta t$  в отдельных опытах, как правило, не превышал  $10 \div 20\%$  от значения  $\Delta t$ .

В первых двух строках табл. 1 представлены результаты одного из экспериментов при  $\phi_0 = 2$  дел. и  $\phi_1 = 128$  дел.

Таблица 1

|                         |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| $\phi_2$ , дел          | 15 | 14 | 12 | 10 | 8  | 6  | 5  | 4   |
| $\Delta t$ , сек (эксп) | 0  | 5  | 15 | 30 | 50 | 65 | 80 | 130 |
| $\Delta t$ , сек (теор) | 4  | 9  | 19 | 32 | 48 | 72 | 89 | 113 |

В третьей строке той же таблицы указаны теоретические значения времени  $\Delta t$ , вычисленные при  $m = 70$  сек и  $k_a = 0,5$  по формуле

$$\Delta t = m \ln \left( \frac{k_a}{1-k_a} \cdot \frac{\lg \frac{\phi_1}{\phi_2}}{\lg \frac{\phi_2}{\phi_0}} \right), \tag{12}$$

вытекающей из (11) при замене  $B$  на  $\phi$ .

На рис. 3 представлена построенная по данным табл. 1 теоретическая кривая, на которую наложены в виде кружков результаты эксперимента. Как видим, имеет место достаточно хорошее согласование теории и опыта. Подобного рода опыты были проведены также и при многих других значениях углов раствора вертушки  $\phi_1$ . Во всех случаях получена

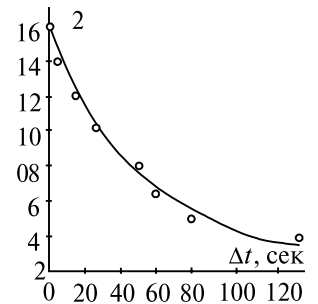


Рис. 3

аналогичная картина согласования теоретических данных при тех же значениях параметров модели  $m = 70$  сек и  $k_a = 0,5$ . Поскольку эти опыты не дают ничего существенно нового по сравнению с описанным опытом, во избежание загромождения работы они здесь не приводятся. Следует, однако, отметить, что степень рассогласования теории с опытом значительно возрастает (увеличивается разброс точек для пар значений углов  $\phi_0$  и  $\phi_1$ , соответствующих ячейкам табл. 1 под жирной чертой). Это связано с тем, что точность опыта существенно снижалась в этом случае ввиду необходимости сравнивать по светлоте не точно одинаковые по окраске оттенки. Подобного рода ухудшение степени согласования теории с опытом наблюдалось также и в опытах по статике адаптации зрения. Описанные выше опыты были повторены затем на пяти испытуемых. Результаты опытов весьма незначительно отличаются для различных испытуемых. Различия в значениях постоянной времени адаптации  $m$  для отдельных наблюдателей составляют величину не более 25%.



## 2. Модель адаптации и опыты Криса

В литературе описаны опыты по исследованию адаптационных реакций органа зрения, выполненные Крисом [2]. Опыты выполнялись с помощью вертушки, имеющей два поля сравнения, по следующей методике. Наблюдатель фиксирует точку на границе двух полей. В течение длительного времени наблюдения, достаточного для полной адаптации глаза, оба поля сравнения имеют одинаковую яркость  $B_0$ . В некоторый момент времени  $t = 0$  яркость одного из полей (назовем его первым) скачкообразно меняется и в дальнейшем сохраняет постоянное значение  $B_1$ . По прошествии периода времени  $\Delta t$  в момент  $t = \Delta t$  яркость первого поля вновь скачкообразно меняется, причем уровень ее  $B_2$  подбирается с таким расчетом, чтобы в первое мгновение после вторичного изменения яркости первого поля его светлота была такой же, как и у второго поля. Яркость второго поля в продолжение всего опыта остается неизменной и равной  $B_0$ . В результате опыта выявляется связь между яркостями  $B_0, B_1, B_2$  и временем  $\Delta t$ .

$$f(B_0, B_1, B_2, \Delta t) = 0. \quad (13)$$

Ни Крис, ни последующие авторы не предлагают теоретически обоснованных формул для математического описания зависимости (13), устанавливаемой в эксперименте в виде таблиц. Выведем вид зависимости (13) из предложенной модели адаптации зрения. Исходя из условий опыта, входной сигнал модели изменяется во времени для первого поля следующим образом:

$$B(\Delta t) = \begin{cases} B_0 & \text{при } t < 0, \\ B_1 & \text{при } 0 \leq t < \Delta t, \\ B_2 & \text{при } t \geq \Delta t. \end{cases} \quad (14)$$

Характер изменения входного сигнала  $B(t)$  во времени показан на рис. 4 а.

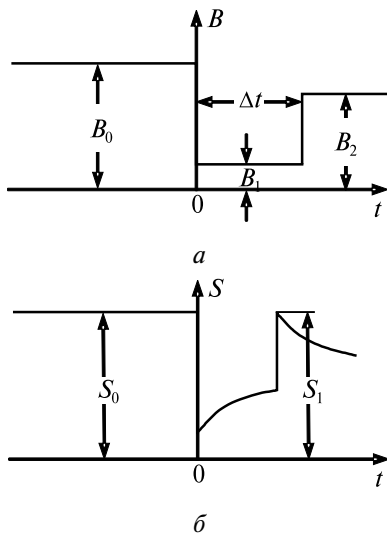


Рис. 4

Характер изменения светлоты  $S(t)$  во времени показан на рис. 4б.

Выходной сигнал  $S(t)$  определим, решая для условий (14) уравнения модели. В результате получим:

$$S(t) = \begin{cases} r10^{(1-k_a)c \lg dB_0} + s & \text{при } t < 0 \\ r10^{(1-k_a)c \lg dB_1 - k_a c \lg \frac{B_0}{B_1} e^{-\frac{t}{m}}} + s & \text{при } 0 < t \leq \Delta t \\ r10^{c \lg dB_2 - k_a c \lg B_0 e^{-\frac{t}{m}} - k_a c \lg B_1 e^{-\frac{t}{m} (e^{\frac{\Delta t}{m}} - 1)}} \times \\ \times 10^{-k_a c \lg B_2 e^{-\frac{t}{m} (e^{\frac{t}{m}} - e^{\frac{\Delta t}{m}})}} + s & \text{при } t > 0. \end{cases} \quad (15)$$

Определим уровень светлоты  $S_0$  в момент времени  $t = -0$  и  $S_1$  в момент времени  $t = \Delta t + 0$ . Согласно формулам (15) находим:

$$S_0 = (1 - k_a) c \lg dB_0, \quad (16)$$

$$S_1 = c \lg dB_2 - k_a c \lg B_1 - k_a c \lg \frac{B_0}{B_1} e^{-\frac{\Delta t}{m}}. \quad (17)$$

Светлоты, согласно условиям эксперимента, равны:

$$S_0 = S_1. \quad (18)$$

Подставляя (16) и (17) в (18), получаем искомую зависимость (13) в виде:

$$\Delta t = m \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{k_a} \cdot \frac{\lg \frac{B_2}{B_1}}{\lg \frac{B_1}{B_0}}}. \quad (19)$$

Для экспериментальной проверки формулы (19) воспользуемся одним из экспериментов Криса [2, с. 14], результаты которого помещены в первых двух строках табл. 2.

Таблица 2

|                         |     |     |    |    |    |    |     |
|-------------------------|-----|-----|----|----|----|----|-----|
| $B_2/B_1, \%$           | 91  | 81  | 66 | 58 | 43 | 23 | 15  |
| $\Delta t$ , сек (эксп) | 3   | 6   | 10 | 20 | 40 | 70 | 100 |
| $\Delta t$ , сек (теор) | 2,9 | 6,8 | 14 | 19 | 32 | 71 | 120 |

При проведении опыта было принято  $B_1/B_2 = 1\%$ . В третьей строке табл. 2 даны результаты теоретического подсчета времени  $\Delta t$  по формуле (19). При подсчетах принято  $k_a = 0,5, m = 70$  сек, то есть взяты те же значения параметров модели, что и в опыте, описанном выше. На диаграмме рис. 5 изображена теоретическая кривая, на которую наложены в виде кружков экспериментальные данные. Как видим, имеет место хорошее согласование теории с опытом.

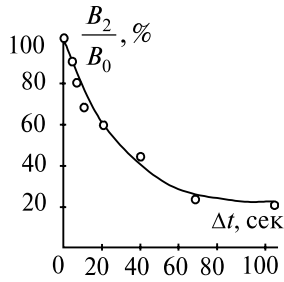


Рис. 5

### 3. Исследование ступенчатых реакций модели адаптации зрения

Выше были получены такие теоретические зависимости, экспериментальная проверка которых может быть выполнена лишь для отдельных точек адапционного процесса. Однако заманчиво поставить такой опыт, в котором бы непосредственно заснималась вся кривая адапционного процесса. Поскольку, как уже отмечалось выше, закон изменения светлоты зрительного ощущения во времени записать не удастся, поставим задачу в несколько иной плоскости. До сих пор мы по заданному входному сигналу  $B(t)$  модели адаптации определяли вид выходного сигнала  $S(t)$ . Теперь поставим обратную задачу: задан вид выходного сигнала  $S(t)$ , нужно определить вид входного сигнала  $B(t)$ , порождающего заданную реакцию. Решение этой задачи приводит к следующим равенствам, позволяющим по заданному выходному сигналу  $S(t)$  определить входной сигнал:

$$B = \frac{1}{d} 10^{\frac{1}{c} Q}, \quad (20)$$

$$Q(t) = R(t) + \frac{k_a}{m} \int_{-\infty}^t R(\tau) e^{-\frac{1-k_a}{m}(t-\tau)d\tau}, \quad (21)$$

$$R = \lg \frac{1}{r} (S - s). \quad (22)$$

Поставим теперь следующую задачу. Требуется отыскать вид входного сигнала  $B(t)$  такого, чтобы при его подаче в модель последняя реагировала ступенчатой функцией  $S(t)$  вида:

$$S(t) = \begin{cases} S_1 & \text{при } t < 0, \\ S_0 & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \quad (23)$$

Применяя общее решение для случая (23), получим:

$$Q(t) = \begin{cases} \frac{1}{1-k_a} R_1 & \text{при } t < 0, \\ \frac{1}{1-k_a} R_0 - \frac{k_a}{1-k_a} (R_0 - R_1) e^{-\frac{1-k_a}{m} t} & \text{при } t \geq 0, \end{cases} \quad (24)$$

где

$$\begin{aligned} R_1 &= \lg \frac{1}{r} (S_1 - s), \\ R_0 &= \lg \frac{1}{r} (S_0 - s). \end{aligned} \quad (25)$$

Входной сигнал  $B(t)$  найдем, подставляя (24) в (21). Характер изменения выходного  $S(t)$  и входного  $B(t)$  сигналов во времени изображен на диаграммах а и б рис. 6. Введем значения  $Q_1$  и  $Q_0$  промежуточно-го сигнала  $Q$  модели, соответствующие значениям  $S_1$  и  $S_0$  выходного сигнала для установившегося режима работы модели. В этом случае имеем:

$$\begin{aligned} Q_1 &= (1 - k_a) Q_1, \\ Q_0 &= (1 - k_a) Q_0. \end{aligned} \quad (26)$$

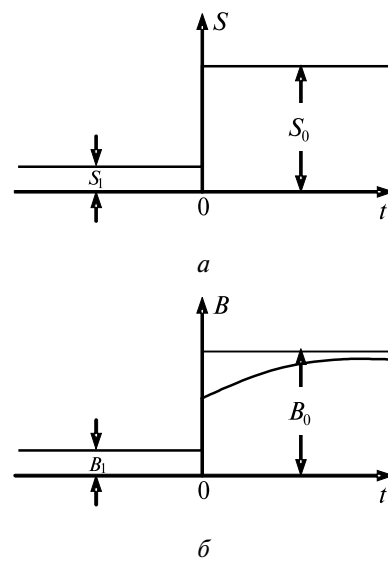


Рис. 6

Подставим найденные значения  $R_0$  и  $R_1$  в уравнение (24). Тогда для  $t \geq 0$  получаем:

$$Q(t) = Q_0 - k_a (Q_0 - Q_1) e^{-\frac{1-k_a}{m} t}. \quad (27)$$

Введем в рассмотрение также значения постоянных входных сигналов  $B_1$  и  $B_0$ , которым в установившемся режиме соответствуют постоянные промежуточные сигналы  $Q_1$  и  $Q_0$ . Согласно (1) имеем:

$$\begin{aligned} Q_1 &= c \lg dB_1, \\ Q_0 &= c \lg dB_0. \end{aligned} \quad (28)$$

Производя по (28) замену  $Q_1$  и  $Q_0$  на  $B_1$  и  $B_0$  преобразуем равенство (27) к виду:

$$B(t) = B_0 \left( \frac{B_1}{B_0} \right)^{k_a e^{-\frac{1-k_a}{m} t}}. \quad (29)$$

В равенстве (29), кроме того, произведена замена  $Q(t)$  на  $B(t)$  по формуле (1).

Формула (29) допускает экспериментальную проверку. Постановка опыта осуществляется сле-

дующим образом. Наблюдатель длительное время фиксирует точку на границе раздела двух полей (рис. 7а).

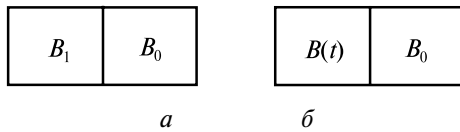


Рис. 7

На левое поле подается постоянный уровень яркости  $B_1$ , на правое — уровень яркости  $B_0$ . В некоторый момент времени ( $t=0$ ) постоянная яркость левого поля заменяется яркостью  $B(t)$ , регулируемой во времени (рис. 7б). Эта яркость регулируется наблюдателем так, чтобы все время имело место равенство светлот полей сравнения. Если модель адаптации зрения верна, то яркость  $B(t)$ , подбираемая испытуемым, будет изменяться по закону, предписываемому формулой (29). В этом опыте сознание наблюдателя используется исключительно в роли нулевого прибора, но тем не менее имеется возможность получить осциллограмму адаптационного процесса.

Эксперименты по проверке зависимости (29) осуществлялись с помощью специальной вертушки, у которой яркость одного из двух ее полей может плавно регулироваться испытуемым без остановки вертушки.

Схема вертушки изображена на рис. 8. На оси 1 электромотора, вращающего вертушку, имеется винтовая канавка 2. Вдоль нее движется палец 3, закрепленный в теле полого вала 4. Этот вал может перемещаться испытуемым вдоль оси прибора с помощью рукоятки, которая одновременно служит движком 5 потенциометра 6. Напряжение, снимаемое с движка потенциометра, регистрируется с помощью самопишущего вольтметра. Рукоятка жестко скреплена с кольцом 7, движущимся по кольцевой канавке 8, проточенной в теле вала 4. При фиксированном положении рукоятки ось 1 и вал 4 вращаются синхронно и синфазно, осевое перемещение вала 4 приводит к его повороту относительно оси 1.

На валу 4 закреплена шпонка 9, движущаяся внутри паза 10 полого вала 11. Оба вала 4 и 11 всегда вращаются синхронно и синфазно, несмотря на возможное осевое перемещение вала 4. С валом 11 жестко связан диск 12 вертушки, а на оси 1 укреплен планка 13. К диску 12 крепятся два бумажных кружка 14 и 15 большого диаметра с прорезями, вставленные друг в друга. Угол  $\phi_0$  раствора кружков может меняться только при остановленной вертушке. К тому же диску одним краем крепится третий бумажный кружок 16 малого диаметра. Четвертый кружок 17, также малого диаметра, противоположным краем крепится к планке 13. Угол раствора  $\phi_0$

этого кружка может изменяться на ходу без остановки вертушки с помощью осевого перемещения вала 4. Величина угла  $\phi_1$  регистрируется пишущим вольтметром.

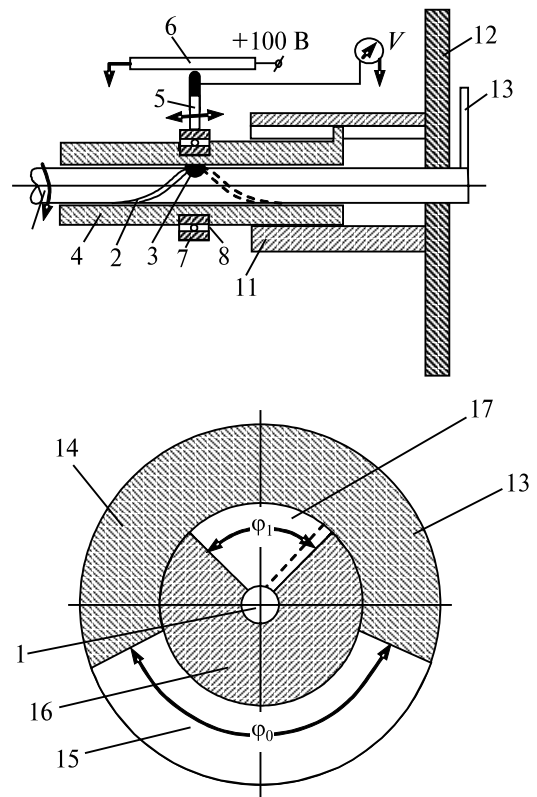


Рис. 8

Опыт ставился следующим образом. Наблюдатель в течение 100 сек фиксирует точку 0 на границе раздела полей вертушки. Внешнее поле имеет яркость  $B_1$ , внутреннее — яркость  $B_2$ , что соответствует углам раствора белых кружков  $\phi_1$  и  $\phi_2$ . В некоторый момент времени ( $t = 0$ ) испытуемый переводит рукоятку прибора в такое положение, при котором оба поля приобретают одинаковый уровень светлоты. Затем испытуемый совершает колебательное движение рукояткой прибора с таким расчетом, чтобы при крайних положениях рукоятки он впервые замечал отличия в светлоте полей вертушки. Движения рукоятки регистрируются пишущим вольтметром. С помощью такой процедуры испытуемый все время поддерживает яркость внутреннего поля вертушки  $B(t)$  на уровне, обеспечивающем равенство светлот полей сравнения. Одновременно с этим автоматически оценивается ошибка опыта в виде зоны нечувствительности, внутри которой совершаются колебания яркости  $B(t)$ .

По описанной методике было заснято большое число кривых изменения яркости  $B(t)$  при различных значениях яркостей  $B_0$  и  $B_1$ . Опыты проводились на одном испытуемом при освещенности 130 лк. Одна из кривых изображена на рис. 9.

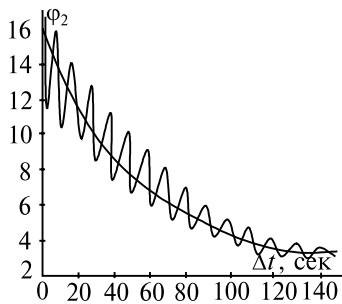


Рис. 9

При постановке опыта было принято  $\varphi_0 = 2$  дел.,  $\varphi_1 = 128$  дел.

На том же графике изображена теоретическая кривая, построенная по формуле:

$$t = \frac{m}{1-k_a} \ln k_a \frac{\lg \frac{\varphi_1}{\varphi_0}}{\lg \frac{\varphi(t)}{\varphi_0}}, \quad (30)$$

получающейся из (29) при переходе от яркостей  $B_0$ ,  $B_1$  и  $B(t)$  к соответствующим растворам углов кружков  $\varphi_0$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi(t)$ . При построении теоретической кривой приняты прежние значения констант модели  $m = 70$  сек,  $k_a = 0,5$ . Как видим, теоретическая кривая достаточно хорошо согласуется с экспериментальной кривой. Быстрые колебания угла  $\varphi(t)$  на экспериментальной кривой принимать во внимание не следует, так как они не имеют отношения к ходу адаптационного процесса, а обусловлены лишь особенностями методики эксперимента. В других выполненных опытах имеет место такая же степень согласования с теорией. Описанные опыты повторялись затем еще на пяти испытуемых и дали результаты, мало отличающиеся от описанных выше.

Завершая статью, заметим, что в трех разнородных опытах по динамике адаптации получено удов-

летворительное согласие теоретических расчетов с экспериментом. Это обстоятельство служит веским доводом в пользу справедливости предложенной модели адаптации зрения.

### Выводы

Исследованы динамические реакции модели адаптации зрения на различные виды входных сигналов. Получен ряд зависимостей, допускающих экспериментальную проверку, и выполнены эксперименты, подтверждающие справедливость этих зависимостей. Эти результаты свидетельствуют в пользу вывода о справедливости предложенной модели адаптации зрения. В модель адаптации зрения введены две константы, характеризующие свойства человеческого зрения: постоянная статика  $k_a$  и постоянная времени  $m$  адаптации. Экспериментальные исследования, выполненные в работе, позволили установить численные значения этих констант:  $k_a = 0,5$ ,  $m = 70$  сек. Справедливость модели адаптации проверялась также на человеческом слухе, и были получены результаты, аналогичные тем, которые обнаружались в зрении. Аналогия зрительных и слуховых процессов наводит на мысль об однотипности законов, лежащих в основе функционирования различных органов чувств, что открывает определенные перспективы для проникновения методов математического моделирования в исследование работы других органов чувств.

**Список литературы:** 1. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Модель статика адаптации зрения // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — № 2 (67) — С. 3-14. 2. Kries J., Ueber Ermudung des Sehnerven, Graefes Arch. f. Ophth., Bd. 23, № 2, 1877.

Поступила в редколлегию 24.09.2007

УДК 004.032.026



## МНОГОСЛОЙНАЯ САМООБУЧАЮЩАЯСЯ СПАЙК-НЕЙРОННАЯ СЕТЬ

Е.В. Бодянский<sup>1</sup>, А.И. Долотов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, bodya@kture.kharkov.ua

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, artem.dolotov@gmail.com

Предложена многослойная спайк-нейронная сеть с рецепторными и радиально-базисными нейронами для решения задачи кластеризации. Рассмотрен адаптивный алгоритм обучения на основе правила Хэбба. Приведены результаты кластеризации спутникового изображения.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, СПАЙК-НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, РЕЦЕПТОРНЫЙ НЕЙРОН, ПОПУЛЯЦИОННОЕ КОДИРОВАНИЕ, ПРАВИЛО ХЭББА, КЛАСТЕРИЗАЦИЯ

### Введение

Задача кластеризации, или классификации без учителя, занимает важное место в общей проблеме интеллектуального и исследовательского анализа данных (Data Mining and Exploratory Data Analysis), а для ее решения в качестве наиболее эффективных показали себя такие средства вычислительного интеллекта [1], как искусственные нейронные сети (самоорганизующиеся карты Кохонена, ART-сети, BSB-нейромодели) [2] и нечеткие методы кластеризации [3, 4].

Последнее десятилетие характеризуется возникновением нового (третьего) поколения искусственных нейронных сетей [5, 6], получивших название «спайк-нейронные сети» и являющихся по характеру своего функционирования близкими аналогами биологических нейросистем. Решая в принципе те же проблемы, что и традиционные нейронные сети (ИНС), спайк-нейронные сети (СНС) обладают существенно большими быстродействием и вычислительной мощностью. При этом для решения одной и той же задачи для СНС требуется значительно меньшее число нейронов, чем для «классической» ИНС с традиционными функциями активации [5].

Принципиальным отличием СНС от обычных ИНС является способ кодирования обрабатываемой информации. При этом, если рассматривать нейронные сети с позиций теории цифрового автоматического управления [7], то ИНС есть не что иное, как нелинейные амплитудно-импульсные системы, а СНС являются время-импульсными системами, в которых информация передается и преобразуется в форме последовательностей импульсов-спайков.

Нашли свое применение спайк-нейронные сети и в задачах кластеризации [8–10], где показали свою эффективность и быстродействие при обработке больших массивов информации, например, достаточно сложных изображений. В то же время следует учитывать, что, поскольку СНС находятся на начальной стадии своего развития, количество известных архитектур и алгоритмов обучения (самообучения) не так уже велико. В связи с этим целью настоящей

работы является синтез архитектуры многослойной гетерогенной спайк-нейронной сети, предназначенной для решения задач кластеризации в ситуациях, когда классы, подлежащие разделению, имеют произвольную, достаточно сложную форму.

### 1. Архитектура самообучающейся спайк-нейронной сети

Архитектура многослойной самообучающейся спайк-нейронной сети, предназначенной для решения задачи кластеризации, приведена на рис. 1. Как видно, это гетерогенная сеть с прямой передачей информации и латеральными связями в выходном слое.

Первый скрытый слой предназначен для кодирования аналоговых входных сигналов  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , предварительно преобразованных так, что  $0 \leq x_i \leq 1$ , в кортежи импульсов-спайков, отличающимися друг от друга моментами возбуждения. Именно в этом слое реализуется преобразование амплитудно-импульсного сигнала во время-импульсную форму. В рассматриваемой СНС с целью повышения точности кластеризации используется популяционное кодирование [11–13], когда один сигнал одновременно обрабатывается пулом, состоящим из  $h$  рецепторных нейронов  $RN_{li}$ ,  $l = 1, 2, \dots, h$ , активационные функции которых есть одномерные колоколообразные перекрывающиеся конструкции (обычно гауссианы), сдвинутые относительно друг друга так, как это показано на рис. 2.

Как видно из рисунка, сигнал  $x_i(k)$  (здесь  $k = 1, 2, 3, \dots$  — номер образа в обучающей выборке) возбуждает второй и третий нейроны популяции  $i$ -го входа (нейроны, уровень активации которых ниже принятого порога возбуждения  $\vartheta_i$ , не возбуждаются), которые генерируют спайки с временами возбуждения  $t_{2i}$  и  $t_{3i}$ , определяемыми значениями активационных функций  $\psi(x_i, c_2)$  и  $\psi(x_i, c_3)$ . При низком пороге возбуждения могут активироваться все нейроны пула, генерируя кортежи импульсов  $\{t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{hi}\}$ .

В общем случае время возбуждения конкретного спайка лежит в интервале  $0 \leq t_{li} \leq T$ , где  $T$  — интер-

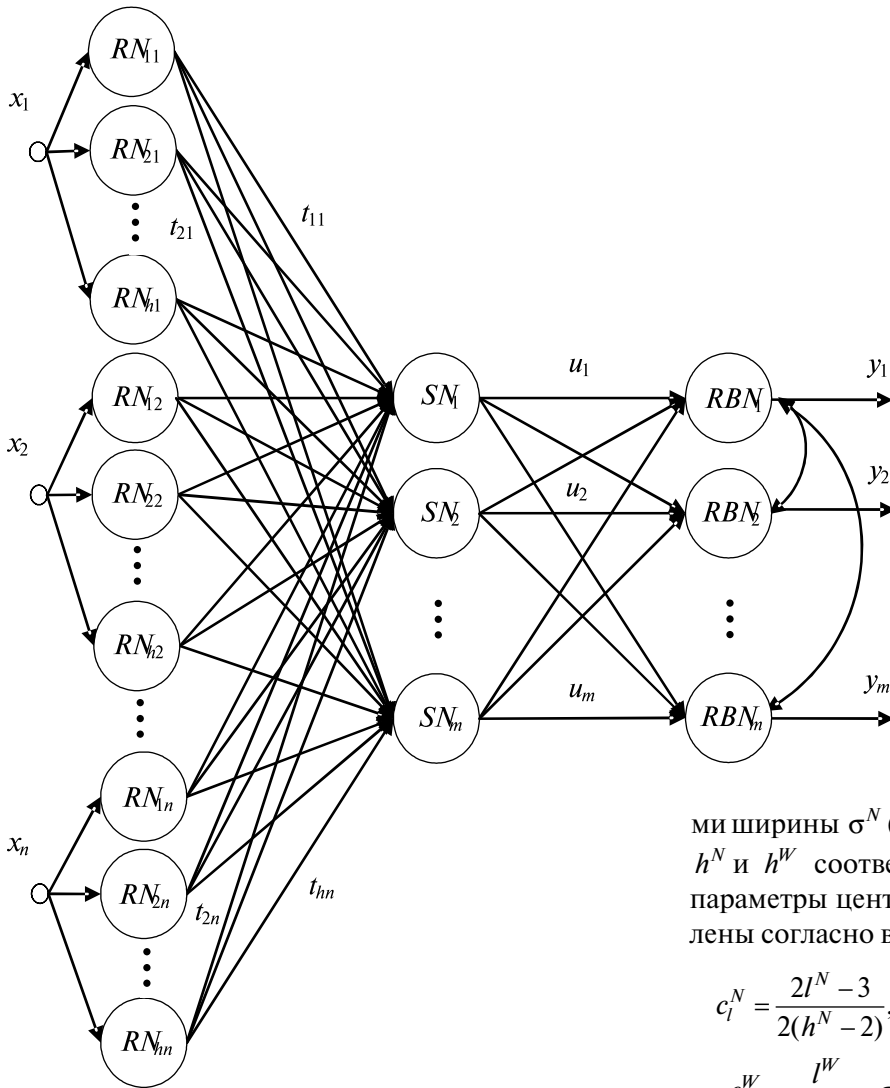


Рис. 1. Многослойная самообучающаяся спайк-нейронная сеть

вал кодирования, и определяется выражением

$$t_{li} = T(1 - \psi(|x_i - c_{li}|, \sigma_i)),$$

которое (полагая без потери общности  $T=1$ ) в случае гауссовской активационной функции принимает простой вид:

$$t_{li} = 1 - \exp\left(-\frac{(x_i - c_{li})^2}{\sigma_i^2}\right),$$

где  $c_i$  и  $\sigma_i$  определяют центр и ширину активационной функции. Несложно видеть, что чем ближе  $i$ -я компонента входного сигнала  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  расположена к центру  $c_i$  рецепторного нейрона  $RN_{li}$ , тем раньше этот нейрон генерирует спайк.

Достаточно часто [9, 12] при популяционном кодировании одновременно используют функции активации с разными параметрами ширины  $\sigma^N$  («узкие») и  $\sigma^W$  («широкие») числом  $h^N$  и  $h^W$  соответственно ( $h^N + h^W = h$ ). При этом параметры центров и ширины могут быть определены согласно выражениям:

$$c_l^N = \frac{2l^N - 3}{2(h^N - 2)}, \sigma_l^N = (1.5(h^N - 2))^{-1}, l^N = 1, 2, \dots, h^N,$$

$$c_l^W = \frac{l^W}{h^W + 1}, \sigma_l^W = (0.5(h^W + 1))^{-1}, l^W = 1, 2, \dots, h^W.$$

«Узкие» и «широкие» активационные функции приведены на рис. 3.

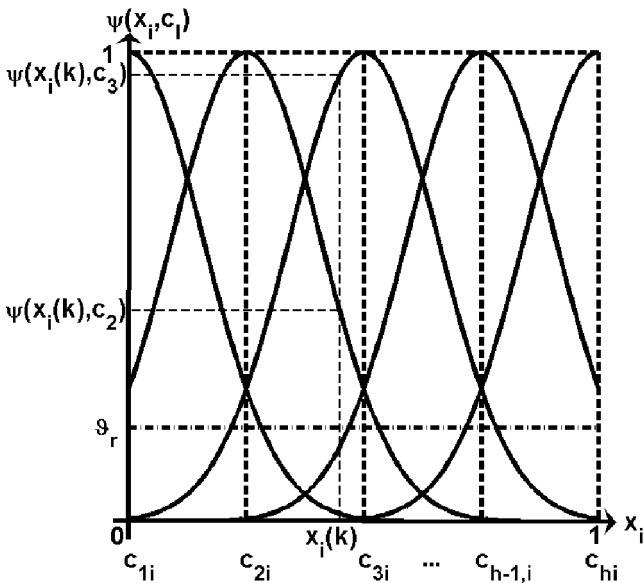


Рис. 2. Активационные функции первого скрытого слоя

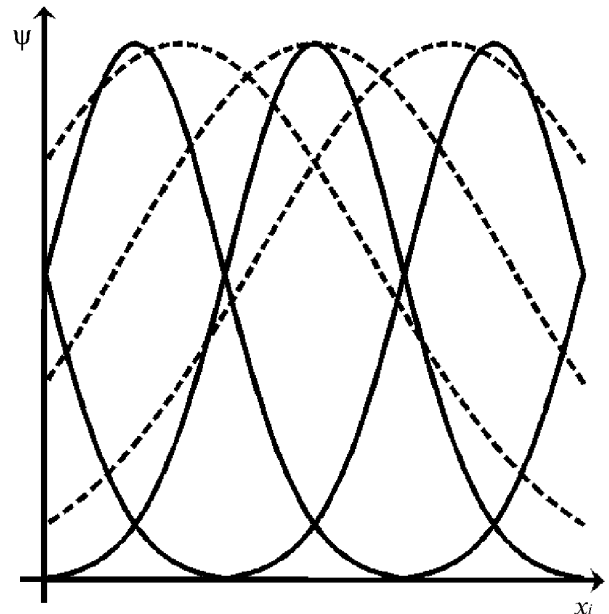


Рис. 3. «Узкие» и «широкие» активационные функции первого скрытого слоя

Таким образом, входным сигналом первого слоя служит  $(n \times 1)$ -вектор образов  $x$ , подлежащих классификации, а выходом —  $n$  кортежей спайков  $\{t_{li}\}$ , которые также могут быть представлены в форме  $(hn \times 1)$ -вектора  $t = (t_{11}, t_{22}, \dots, t_{h1}, t_{12}, \dots, t_{li}, \dots, t_{h-1,n}, t_{hn})^T$ .

Интересно заметить также, что первый скрытый слой СНС по структуре совпадает со слоем фазсификации таких нейро-фаззи-систем, как сети Такаги-Сугено-Канга, Дженга, Ванга-Мендели и им подобных [1], где узлам  $RN_{li}$  соответствуют колоколообразные функции принадлежности  $j_{li}$ . Отличие состоит в том, что выходом нейрона  $RN_{li}$  является спайк со временем возбуждения  $t_{li}$ , а выходом функции принадлежности  $j_{li}$  — уровень соответствующей лингвистической переменной.

Второй скрытый слой СНС образован  $m$  составными спайк-нейронами [8, 14]  $SN_j$  с множественными синапсами  $MS_{li}$ , каждый из которых

образован параллельными субсинапсами с различными временными аксональными задержками  $d^p$ ,  $p=1,2,\dots,q$ ;  $d^p - d^{p-1} > 0$ . На рис. 4 приведена архитектура составного спайк-нейрона рассматриваемой СНС.

Спайк-нейрон имеет  $hn$  входов, каждому из которых соответствует свой множественный синапс  $MS_{li}$ , образованный  $q$  субсинапсами, состоящими из последовательно соединенных формирователей постсинаптического потенциала  $\epsilon_{jli}^p(t)$  и синаптических весов  $w_{jli}^p$ , подлежащих настройке. При подаче на  $li$ -й вход спайка с моментом активации  $t_{li}$  субсинапс генерирует постсинаптический потенциал

$$\epsilon_{jli}^p(t) = \epsilon(t - t_{li} - d^p),$$

где

$$\epsilon(t) = \begin{cases} \frac{t}{\tau} \exp(1 - \frac{t}{\tau}), & t \geq 0, \\ 0, & t < 0, \end{cases}$$

$\tau$  — постоянная времени, выбираемая из эмпирических соображений. Несложно заметить, что постсинаптический потенциал  $\epsilon(t)$  имеет форму функции распределения Вейбулла.

Выходом множественного синапса является сигнал

$$u_{jli}(t) = \sum_{p=1}^q w_{jli}^p \epsilon(t - t_{li} - d^p),$$

а составного спайк-нейрона в целом —

$$u_j(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^h \sum_{p=1}^q w_{jli}^p \epsilon(t - t_{li} - d^p).$$

Таким образом, входным сигналом второго скрытого слоя служит  $(hn \times 1)$ -вектор  $t$ , а выходом —  $(n \times 1)$ -вектор обобщенных постсинаптических потенциалов  $u(t) = (u_1(t), \dots, u_j(t), \dots, u_n(t))^T$ .

Интересно заметить также, что составной спайк-нейрон по архитектуре полностью совпадает с нео-фаззи-нейроном [15-18], а множественный синапс — с нелинейным синапсом, однако, при этом они реализуют совершенно разные функции.

Выходной слой СНС образован  $m$  стандартными радиально-базисными нейронами  $RBN_j$ ,  $j=1,2,\dots,m$ , при этом центр каждой радиально-базисной многомерной функции  $c_j = (c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jn})^T$  совпадает с вектором-прототипом соответствующего кластера. Выходные радиально-базисные нейроны связаны между собой латеральными связями, обеспечивающими определение принадлежности предъявленного образа  $x(k)$  к конкретному кластеру по принципу «победитель получает все» так, как это реализовано в самоорганизующихся картах Кохонена.

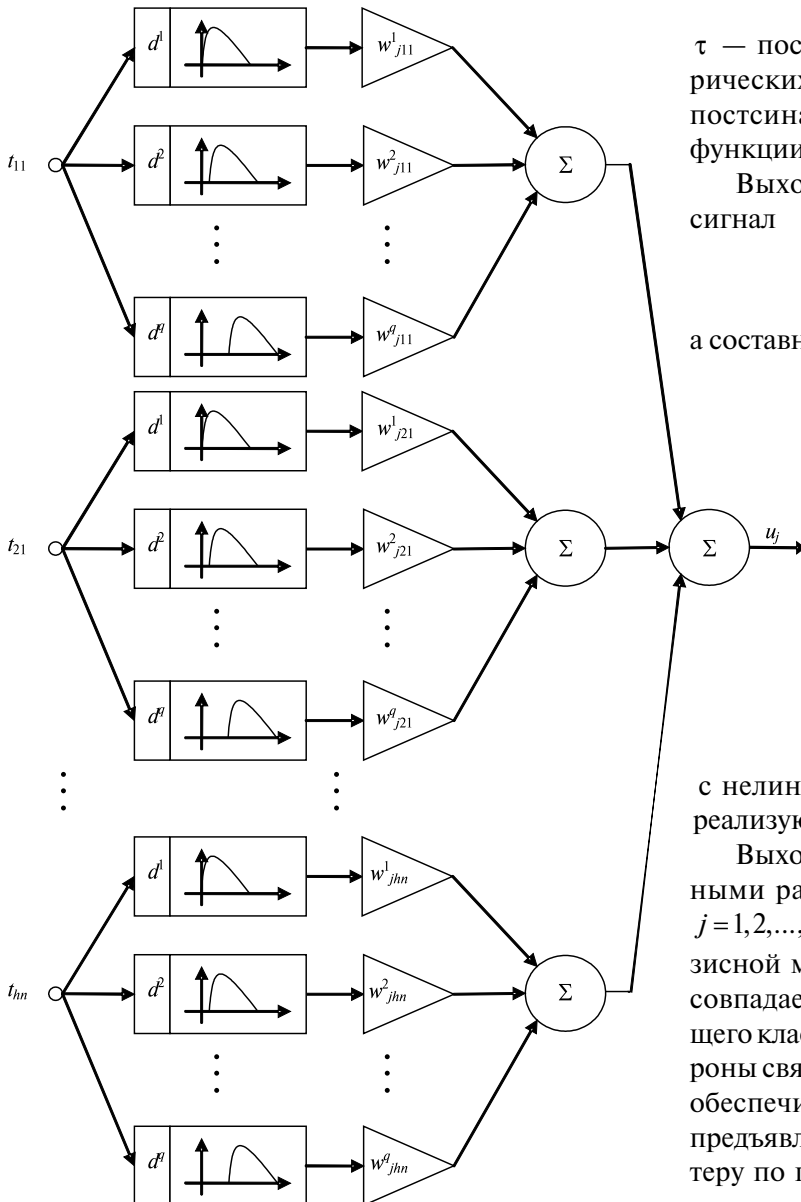


Рис. 4. Составной спайк-нейрон

Для вычисления координат центров радиально-базисных функций выходного слоя в рассмотрение вводится средняя задержка между входом и выходом [8], рассчитываемая согласно выражению

$$d_{ji} = \frac{\sum_{l=1}^h \sum_{p=1}^q w_{jli}^p d^p}{\sum_{l=1}^h \sum_{p=1}^q w_{jli}^p}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Далее на основании этих задержек определяются собственно центры

$$c_{ji} = d_{ji} - \min\{d_{ji} \mid 1 \leq i \leq n\}, \quad (1)$$

которые устанавливаются в нейронах выходного слоя с активационными функциями  $\varphi_j(\|u - c_j\|^2, \sigma^2)$ , обычно выбираемыми в форме многомерных гауссианов

$$\varphi_j(\|u - c_j\|^2, \sigma^2) = \exp\left(-\frac{\|u - c_j\|^2}{\sigma^2}\right),$$

где параметр  $n$ -мерного рецепторного поля-гипершара  $\sigma$  выбирается из эмпирических соображений.

Латеральные связи между выходными нейронами в процессе самообучения не используются. Их роль проявляется в процессе кластеризации с помощью уже обученной сети, когда на ее вход подается образ, не принадлежащий обучающей выборке. Нейрон с наибольшим уровнем активации объявляется «победителем» и только на его входе появляется сигнал  $y_j$ , сигнализирующий о принадлежности предъявленного образа  $j$ -му кластеру.

## 2. Обучение спайк-нейронной сети

Обучение спайк-нейронной сети в задаче кластеризации обычно производится с помощью хэббовского правила самообучения [2], которое может быть записано в общем виде:

$$\Delta w_{jli}^p = \eta_w(k) L(\Delta t_{jli}),$$

где  $\eta_w > 0$  — скалярный параметр, определяющий скорость обучения;  $k$  — номер эпохи;  $L(\Delta t_{jli})$  — частная производная критерия обучения по настраиваемому параметру;  $\Delta t_{jli}$  — задержка момента активации спайк-нейрона при поступлении на его вход спайка от рецепторного нейрона, определяющаяся разностью

$$\Delta t_{jli} = t_{li} + d^p - t_j,$$

где  $t_{li}$  — момент активации  $l$ -го рецепторного нейрона для  $i$ -го входа;  $d^p$  — временная аксонная задержка  $p$ -го субсинапса;  $t_j$  — момент активации постсинаптического нейрона. Функция  $L(\bullet)$ , как правило, определяется выражением

$$L(\Delta t_{jli}) = \eta_w(k) \left( (1 + \beta) \exp\left(\frac{(\Delta t_{jli} - \alpha)^2}{2(K-1)}\right) - \beta \right),$$

$$K = 1 - \frac{v^2}{2 \ln \frac{\beta}{1 + \beta}},$$

где  $\alpha \geq 0$  — параметр сдвига;  $\beta$  — параметр смещения, устанавливающий значение, на которое будут уменьшаться веса;  $v$  — параметр ширины, определяющий характер функции  $L(\bullet)$ .

В рекуррентной форме алгоритм обучения слоя спайк-нейронов имеет следующий вид:

$$w_{jli}^p(k+1) = w_{jli}^p(k) + \eta_w(k) L(\Delta t_{jli}) \quad (2)$$

или

$$w_{jli}^p(k+1) = w_{jli}^p(k) + \eta_w(k) \left( (1 + \beta) \exp\left(\frac{(\Delta t_{jli} - \alpha)^2}{2(K-1)}\right) - \beta \right).$$

Функция  $L(\bullet)$  задается так, чтобы в процессе обучения веса тех субсинапсов, которые способствуют более ранней активации нейрона-победителя, увеличивались, а веса всех остальных субсинапсов нейрона уменьшались. Таким образом, изменение весов происходит так, чтобы центр соответствующего радиально-базисного нейрона приближался к входному образу.

При достаточно большой по объему обучающей выборке настройка может быть проведена за один проход алгоритма. В противном случае реализуется процесс обучения по эпохам, когда одна и та же выборка обрабатывается многократно.

После окончательной настройки синаптических весов  $w_{jli}^p$  могут быть определены центры радиально-базисных функций выходного слоя согласно выражению (1). Наряду с рассмотренным пакетным алгоритмом обучения может быть реализована и рекуррентная его версия, позволяющая обрабатывать данные в реальном времени по мере их поступления. При этом на основании текущих значений синаптических весов  $w_{jli}^p(k)$ , получаемых с помощью (2), вычисляются значения центров в виде:

$$d_{ji}(k) = \frac{\sum_{l=1}^h \sum_{p=1}^q w_{jli}^p(k) d^p}{\sum_{l=1}^h \sum_{p=1}^q w_{jli}^p(k)},$$

$$c_{ji}(k) = d_{ji}(k) - \min\{d_{ji}(k) \mid 1 \leq i \leq n\},$$

которые затем «сглаживаются» с помощью правила самообучения Кохонена:

$$\bar{c}_j(k+1) = \bar{c}_j(k) + \eta_c(k)(c_j(k) - \bar{c}_j(k)),$$

где  $\bar{c}_{gi}(k)$  — сглаженное значение центра радиально-базисной функции  $j$ -го нейрона на  $k$ -ой итерации обработки;  $\eta_c(k)$  — параметр шага, обычно выбираемый в соответствии с условиями Дворецкого.



### 3. Пример решения задачи кластеризации изображений

Спайк-нейронная сеть тестировалась на цветном спутниковом изображении размером 542 x 845 пикселей (рис. 5).



Рис. 5. Спутниковое изображение пл. Свободы (г. Харьков)

Для обучения использовалась выборка, сформированная половиной всех пикселей, выбранных случайным образом. На вход сети подавалась RGB-компонента каждого пикселя. Сеть имела по 3 рецепторных нейрона на каждом входе и по 5 радиально-базисных нейронов в выходном слое. Для сравнения та же самая задача была решена картой Кохонена. С целью графического представления результатов каждому кластеру в соответствие были поставлены оттенки серого. Результаты приведены на рис. 6. Представленный результат был получен на 4 эпохе для СНС и на 50 — для карты Кохонена.

Таким образом, для обучения предложенной СНС требуется как минимум на порядок меньше эпох, чем для карты Кохонена.

#### Заключение

Рассмотрены архитектура и алгоритм самообучения спайк-нейронной сети в задаче кластеризации, обеспечивающие высокие быстродействие и качество обработки информации. Спайк-нейронная сеть синтезирована на основе принципов, существенно отличающихся от методов построения и обработки данных в традиционных нейронных сетях и лежащих в основе биологических нейросистем живых организмов. Перспектива дальнейших исследований связана с введением нечеткости в процесс кластеризации в условиях перекрывающихся классов.



Рис. 6. Результат кластеризации спутникового изображения предложенной СНС (справа) и картой Кохонена (слева)

- Список литературы:** 1. *Jang J.-Sh. R., Sun Ch.-T., Mizutani E.* Neuro-Fuzzy and Soft Computing: a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. — Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1997. — 614 p. 2. *Haykin S.* Neural Networks. A Comprehensive Foundation. — Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. — 842 p. 3. *Hoppner F., Klawonn F., Kruse R.* Fuzzy-Clusteranalyse. Verfahren für die Bilderkennung, Klassifikation und Datenanalyse. — Braunschweig: Vieweg, 1996. — 280 S. 4. *Sato-Ilic M., Jain L.C.* Innovations in Fuzzy Clustering. — Berlin Heidelberg New York: Springer, 2006. — 152 p. 5. *Maass W.* Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models // Neural Networks. — 1997. — 10. — P. 1659-1671. 6. *Natschlager T.* Networks of spiking neurons: a new generation of neural networks models. — 1998. — [http://www.igi.tugraz.at/tnatschl/online/3rd\\_gen\\_eng/3rd\\_gen\\_eng.html](http://www.igi.tugraz.at/tnatschl/online/3rd_gen_eng/3rd_gen_eng.html). 7. *Пыпкин Я. З.* Теория линейных импульсных систем. — Москва: Физматгиз, 1963. — 968 с. 8. *Natschlager T., Ruf B.* Spatial and temporal pattern analysis via spiking neurons // Network: Computations in Neural Systems. — 1998. — 9. — P. 319-332. 9. *Bohte S.M., Kok J.S., La Poutre H.* Unsupervised clustering with spiking neurons by sparse temporal coding and multi-layer RBF networks // IEEE Trans. on Neural Networks. — 2002. — 13. — P. 426-435. 10. *Долотов А.И.* Обучение без учителя на основе сети спайк-нейронов // Системный анализ и информационные технологии: Материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. (15-19 мая 2007 г., Киев). — К.: НТУУ “КПИ”, 2007. — С. 104. 11. *H. P. Snippe.* Parameter extraction from population codes: a critical assesment // Neural Computation. — 1996. — 8(4). — P. 511-529. 12. *Zhang K., Sejnowski T.J.* Neuronal tuning: to sharpen or broaden? // Neural Computation. — 1999. — 11. — P. 75-84. 13. *Долотов А.И., Викторов Е.А.* Применение рецепторных полей в спайк-нейронных сетях при решении задачи кластеризации // 11-й междунар. молодежный форум “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке.”: Сб. материалов форума. — Харьков: ХНУРЭ, 2007. — Ч.1. — С. 351. 14. *Bohte S.M., Kok J.S., La Poutre H.* Error back-propagation in temporally encoded networks of spiking neurons // Neurocomputing. — 2002. — 48. — P. 17-37. 15. *Yamakawa T., Uchino E., Miki T., Kusanagi H.* A neo fuzzy neuron and its applications to system identification and prediction of the system behavior // Proc. 2nd Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks “IIZUKA-92”. — Iizuka, Japan, 1992. — P. 477-483. 16. *Miki T., Yamakawa T.* Analog implementation of neo-fuzzy neuron and its on-board learning / Ed. N. E. Mastorakis “Computational Intelligence and Applications”. — Piraeus: WSES Press, 1999. — P. 144-149. 17. *Bodyanskiy Ye., Kokshenev I., Kolodyazhniy V.* An adaptive learning algorithm for a neo fuzzy neuron // Proc. 3rd Int. Conf. of European Union Society for Fuzzy Logic and Technology “EUSFLAT 2003”. — Zittau, Germany, 2003. — P. 375-379. 18. *Kolodyazhniy V., Bodyanskiy Ye., Otto P.* Universal approximator employing neo-fuzzy neuron / Ed. B. Reusch. — Berlin-Heidelberg: Springer, 2005. P. 631-640.

Поступила в редколлегию 26.09.2007

УДК 004.421



## СЕЛЕКТИВНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ОПЕРАТИВНОГО СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ЛЕКСИКО-СЕМАНТИЧНОГО СЛОВНИКОВОГО РЕСУРСУ

Т.М. Заболотня

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна, tatiana104@yandex.ru

Запропоновано підхід до програмного формування лексико-семантичного словникового ресурсу з певної предметної галузі на основі упорядкованої селекції частини вмісту універсального словника формату WordNet. Проаналізовано узагальнені особливості термінології документації різних сфер людської діяльності та, зокрема, сфери права. Розроблено послідовність відбору синсетів до спеціалізованого словника. Досліджено ефективність використання сформованого словника (у сенсі швидкодії відповідного програмного забезпечення та адекватності результатів його роботи) на прикладі задачі виправлення орфографічних помилок у предметно-орієнтованих текстових даних.

### ЛІНГВІСТИЧНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СПЕЦІАЛІЗОВАНІ МАШИННІ СЛОВНИКИ

#### Вступ

На сьогоднішній день для організації ефективної комп'ютерної обробки спеціалізованих текстових даних особливої значущості набуває врахування програмним забезпеченням особливостей термінології відповідної предметної галузі. На жаль, існуючі інформаційні системи працюють із тематичними електронними документами здебільшого на рівні їх формальних характеристик, а для більш детального аналізу текстів, як правило, застосовуються універсальні програмні засоби та звичайні словникові ресурси.

Між тим від коректності укладання комп'ютерних словників та алгоритмів обробки їх вмісту значною мірою залежить швидкість роботи відповідного програмного забезпечення із текстовими даними та адекватність результатів, які при цьому отримує користувач. Звідси, формування ефективного предметно-орієнтованого словникового ресурсу є однією з основних проблем побудови спеціалізованого програмного інструментарію аналізу текстових даних, вирішенню якої і присвячена дана стаття.

#### 1. Постановка задачі

Зазвичай для лексикографічного опису терміно-системи предметної галузі будується машинний словник тезаурусного типу [1, 2, 3], який дозволяє вирішити проблему синонімії термінів та термінологічних сполучень, що зустрічаються в текстах. Чим більше понять та їх синонімів систематизовано у тезаурусі і чим різноманітніші види зв'язків між ними, тим ширші можливості інформаційної системи, яка його використовує. Але при цьому слід уникати введення надмірної кількості синонімів та рідковживаних слів, неістотних для текстів даної тематики.

На жаль розробка нового тезаурусу є доволі трудомістким завданням, а аналіз його вмісту не забезпечує повною мірою рішення задач автоматизованої обробки спеціалізованого тексту.

По-перше, відбір ключових слів з текстового матеріалу, виявлення умовної еквівалентності між ними, відбір дескрипторів, встановлення парадигматичних відношень між термінами і дескрипторами — все це є питаннями, вирішення яких потребує спільної роботи спеціалістів конкретної предметної галузі та філологів [3, 4]. Часто залучення таких професіоналів до роботи над створенням програмного тезаурусу неможливе. Тому актуальною є розробка методів швидкої та максимально автоматизованої побудови словника, який би підтримував виконання необхідного для *lingware* такого класу мінімуму операцій та який міг би виступити основою для подальшої «ручної» корекції терміносистеми відповідними фахівцями.

По-друге, комп'ютеризоване укладання спеціалізованого словника наново потребує врахування відповідним програмним забезпеченням специфіки лексики та характерних рис документів обраної предметної галузі. Це спричиняє перетворення таких програмних засобів на складні інтелектуальні системи, розробка яких не є швидшою та простішою за «ручне» створення тематичного словника. Вирішенням даної проблеми, на думку автора, є автоматизоване формування машинних словників на основі існуючих, коректно укладених професіоналами універсальних ресурсів шляхом відбору лексики з останніх за певними правилами. Результатом проведення модифікації наповнення словника є підвищення оперативності роботи програми, яка його використовує, за рахунок уникнення нею зайвої обробки слів, які взагалі не можуть бути присутні у текстах даної тематики.

По-третє, залучення тезаурусу для розв'язання питань, пов'язаних із обробкою окремих слів (наприклад, для виправлення орфографічних помилок), не є доцільним через те, що у ньому зберігаються поняття, котрі, як правило, виражені словосполученнями та цілими зворотами. З огляду

на це необхідним є укладання поряд із тезаурусами спеціалізованих лексико-семантичних словників, структурною одиницею яких є окрема лексема. Це дозволить розширити функціональність відповідних інформаційних систем (ІС) та зробить останні більш гнучкими у роботі.

Виходячи із наведених вище аргументів, **метою дослідження** стали розробка, теоретичне обґрунтування та експериментальна апробація підходу до формування оперативного предметно-орієнтованого словникового ресурсу шляхом автоматизованої модифікації існуючого універсального лексико-семантичного словника з урахуванням особливостей терміносистеми конкретної предметної галузі.

У відповідності до поставленої мети **задачами дослідження** є:

- визначення послідовності формування спеціалізованого словника шляхом упорядкованої фільтрації наповнення універсального лексико-семантичного словникового ресурсу;

- експериментальне дослідження ефективності використання словника з певної предметної галузі, отриманого відповідно до запропонованого підходу.

Для теоретичного обґрунтування та експериментальної апробації даного підходу було обрано одну з найбільш специфічних та формалізованих сфер людської діяльності, ефективна робота у якій безпосередньо залежить від швидкості та точності функціонування програмного інструментарію аналізу текстових даних, — *сферу права*.

## 2. Основні етапи автоматизованого формування спеціалізованого словникового ресурсу

### 2.1. Вивчення вимог до мови документів предметної галузі та їх впливу на вміст словника

Мова будь-якої предметної галузі характеризується цілою низкою особливостей, які повинні бути врахованими програмним забезпеченням обробки текстів. Тому для створення адекватного вузькоспрямованого словникового ресурсу необхідно проаналізувати існуючі вимоги до спеціалізованої мови, складені відповідними фахівцями, та визначити, які зміни в універсальному словнику може спричинити їх дотримання.

Отже, за характером впливу на наповнення словника вимоги до мови будь-якої предметної галузі (у т.ч. і до мови права) можна розділити на 2 групи [3, 5]:

- 1) вимоги, що визначають набір слів, які можуть застосовуватися у текстах даної предметної галузі, і набір слів, поява яких у документах виключена;

- 2) вимоги, які сприяють збереженню упорядкованості терміносистеми.

Так, наприклад, на основі результатів вивчення робіт спеціалістів у сфері юридичної та комп'ютерної

лінгвістики автором було визначено найважливіші для розробки *lingware* вимоги до мови правових документів.

До першої групи можна віднести 2 узагальнюючі вимоги: **точність і ясність**. Серед вимог, які базуються на зазначених вище, найбільш поширеними є: емоційна /експресивна/ нейтральність лексики; простота та надійність мови права, що виключає багатозначність; економічність; високий ступінь абстрактності [2, 6].

З огляду на те, що система термінів кожної галузі науки (юридична терміносистема тут не є винятком) становить певну множину взаємопов'язаних елементів, які створюють чітку єдність і цілісність, наділену інтегральними властивостями і закономірностями [2, 5], до вимог, які запобігають утворенню у словнику хаотичного набору слів, автором віднесено вимогу **системності**.

Для того, щоб задовольнити наведеним вимогам, формування спеціалізованого словника має проходити у два етапи:

- фільтрації лексики універсального словникового ресурсу (виключення з його складу слів, нехарактерних для документів даної предметної галузі);

- систематизації частини лексем, яка була відібрана на етапі фільтрації.

### 2.2. Фільтрація вмісту універсального лексико-семантичного словника

Для модифікації та налаштування на задану предметну галузь було обрано популярний лексико-семантичний словник формату WordNet, розроблений ученими Принстонського університету [7] як такий, що вільно розповсюджується, широко використовується та легко локалізується. Базовою структурною одиницею WordNet є синонімічний ряд (синсет), що об'єднує слова із подібним значенням. На множині лексем  $W$ , які зберігаються у даному словнику, можна визначити функцію *getsynset*, яка дозволяє для кожного слова отримати множину відповідних йому синонімічних рядів з множини усіх синсетів словника  $S$ :

$$\begin{aligned} \text{getsynset} : W &\rightarrow S \\ W \ni w &\rightarrow \{s \mid s \in S\} \equiv \text{getsynset}(w). \end{aligned} \quad (1)$$

Синсети в WordNet зв'язані між собою семантичними відношеннями, серед яких особливу роль грають гіпернімія та гіпонімія, які дозволяють організувати синсети в ієрархічні структури (дерева) [8]. Приклад структури словника формату WordNet наведено на рис. 1.

Фільтрацію наповнення wordnet-словника пропонується здійснювати шляхом статистичної обробки репрезентативної вибірки текстів з масиву документів, який повинен аналізуватися за допомогою даного словника.

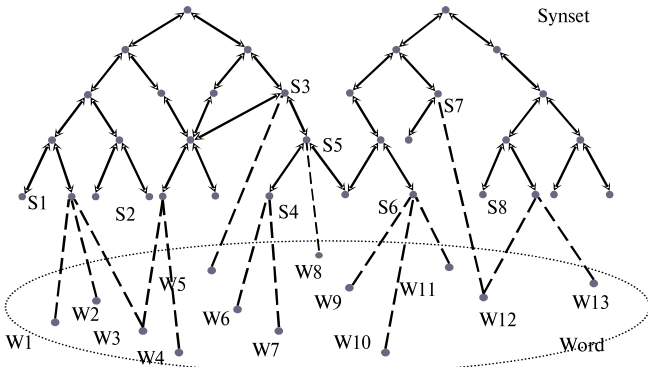


Рис. 1. Структурна організація словника формату WordNet

**Крок 2.2.1.** Вибір з документів усіх слів, їх лема-тизація та визначення абсолютної частоти появи відповідних лексем у тексті (на рис. 1 таким словам відповідають вершини  $w_1-w_3, w_5, w_6, w_{12}$ ). Позначимо отриману множину слів  $W'$ , де  $W' \subset W$  ( $W$  — множина усіх лексем, що містяться у словнику). Вважаємо, що якщо слово з тексту не міститься у словнику, то воно помилкове, або є таким, що його можна не включати до подальшої обробки.

**Крок 2.2.2.** Знаходження синсетів, до складу яких входять відібрані на попередньому кроці слова (на рис. 1 це відповідно синсети  $s_1-s_4, s_7, s_8$ ). В результаті отримуємо множину синсетів слів  $S'$ , де  $S' \subset S$  ( $S$  — множина усіх синсетів, що містяться у словнику), таку що:

$$\forall s_i \in S' \quad \exists w_i \in W' : \text{getsynset}(w_i) = \{s \mid s \in S'\} \ni s_i \quad (2)$$

До обробки на наступному етапі потраплять лише слова та синсети, які належать множинам  $W'$  та  $S'$  відповідно (тобто частота появи яких у текстах документів більша, ніж нуль).

Якщо тексти документів, на основі аналізу яких було проведено фільтрацію вмісту словника, відповідають усім вимогам фахівців до мови предметної галузі, то у результаті здійснення описаних кроків мають бути отримані множини слів та відповідних їм синсетів, які так само задовольняють зазначеним вимогам [6]. Але, як можна бачити на рис. 1, вибрані таким чином синсети є розрізненими та несистематизованими. Цей недолік буде усунений на наступному етапі формування спеціалізованого словника.

### 2.3. Розширення множин $W'$ та $S'$ з метою виконання умови системності лексики

**Крок 2.3.1.** Побудова шляхів від кожного  $s \in S'$  до найближчих за структурою словника синсетів.

Метою даного кроку є знаходження зв'язку між відібраними на попередньому етапі синсетами і, завдяки цьому, відновлення цілісності словника.

Відстань *maxdist* (кількість дуг у шляху), в межах якої синсети вважаються близькими, визначається емпіричним шляхом.

Для виконання даного кроку на множині синсетів  $S$  визначається функція *shortpath* (див. (3)), за допомогою якої для кожного  $s \in S'$  проводиться пошук шляхів до найближчих за структурою словника синсетів, які також належать множині  $S'$ . Результатом її виконання є масив, який складається з множин  $s_{path}$ , що містять синсети одного шляху між  $s_b$  та  $s_e$ . Синонімічні ряди, які входять до складу знайдених шляхів, заносяться до множини синсетів  $S_1''$ .

$$S_1'' = \{s_{path} \subset S \mid s_{path} = \text{shortpath}(s_b, s_e)\}, \quad (3)$$

де  $s_b, s_e \in S' \wedge |s_{path}| < \text{maxdist}$ .

Якщо встановити *maxdist* = 5, то для прикладу, наведеного на рис. 1, будуть побудовані шляхи між вершинами  $s_2-s_3, s_2-s_4$  та  $s_3-s_4$ . Слід відзначити, що із подальшим збільшенням даної відстані потрібно поводитись обережно, тому що транзитивність на тезаурусних відношеннях працює тільки на «коротких» дистанціях [8].

Отже, даного кроку недостатньо для того, щоб отримати систематизований та цілісний підсловник з універсального wordnet-словника. Тому розширення множини синсетів на цьому не закінчується.

**Крок 2.3.2.** Побудова шляхів від кожного із синсетів  $s \in S'$  до синсетів верхнього рівня.

На відміну від попереднього кроку, у даному випадку для формування шляхів використовується значно звужений набір відношень (це відношення типу «частина-ціле» та родо-видові, які дозволяють організувати синсети у дерева [8]). За рахунок урахування даних ланцюжків синсетів, по-перше, відновлюється ієрархічність структури словника, а по-друге, синсети, між якими зв'язок ще не встановлено, можуть бути пов'язані через спільну вершину одного з верхніх рівнів. Синонімічні ряди, які входять до складу знайдених  $s_{path}$ , заносяться до множини синсетів  $S_2''$ .

Аналогічно до функції *shortpath*, визначимо на множині синсетів  $S$  функцію *toppath*:

$$S_2'' = \{s_{path} \subset S \mid s_{path} = \text{toppath}(s_b, s_{top})\}, \quad (4)$$

де  $s_b \in S' \wedge s_{top} \in S$ .

У результаті виконання зазначених кроків щодо розширення множини синсетів  $S'$  отримуємо множину  $S'' = S_1'' \cup S_2''$ , якою і буде доповнений новий спеціалізований словник.

$$S_{new} = S' \cup S''. \quad (5)$$

де  $S_{new}$  — множина синсетів отриманого словника.



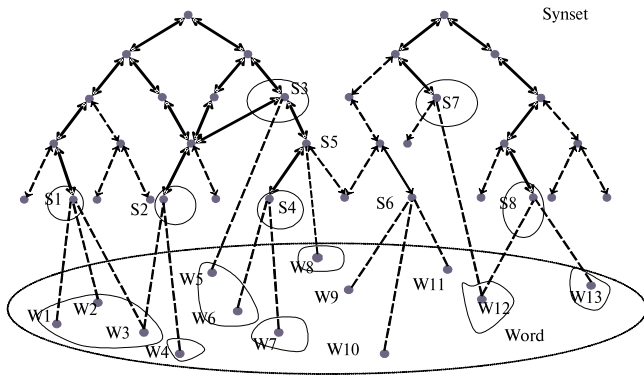


Рис. 2. Результат виконання етапу розширення множини синсетів wordnet-словника

Для прикладу, наведеного на рис. 2, множини  $S_{new}$  складають усі синсети, з'єднані жирною суцільною лінією.

**Крок 2.3.3.** Відображення отриманої множини синсетів  $S''$  на множини  $W$ .

У межах даного кроку відбувається визначення множини слів, які входять до синсетів, відібраних раніше для розширення словника. Множину слів  $W''$  можна визначити як:

$$W'' = \{w \in W \mid \text{getsynset}(w) \cap S'' \neq \emptyset\}. \quad (6)$$

У такому разі набір слів, які відповідають множині синсетів  $S_{new}$ , буде отримано за формулою (7):

$$W_{new} = W' \cup W''. \quad (7)$$

На рис. 2 множини  $W_{new}$  складають усі вершини  $w_i$  окрім  $w_9, w_{10}, w_{11}$ .

Отже, результатом проведення фільтрації та наступної систематизації вмісту словникового ресурсу, мають бути відібрані множини синсетів та відповідних їм лексем, які складатимуть спеціалізований словник з певної предметної галузі (у нашому випадку — з права).

Щоб перевірити цілісність отриманого набору синсетів, використаємо **метод Мальгранжа-Томеску** для визначення компонентів сильної зв'язності в орграфах [9]. Процес модифікації словника пропонується вважати успішним, якщо до компонента сильної зв'язності, який містить найбільшу кількість синсетів, входять більше 90% вибраних синсетів.

Синсети, котрі належать множині  $S'$ , але не увійшли до компонента сильної зв'язності, можна додати до неї «вручну», або збільшити значення  $maxdist$  та повторити для цих синсетів дії III етапу (див. вище). Наприклад, якщо для випадку, який розглядається у даній статті (див. рис. 2), збільшити  $maxdist$  до 6, між синсетами  $s_4$  та  $s_7$  можна побудувати шлях, а це означає, що відібраний підграф буде сильно зв'язним.

## 2.4. Додавання нових синсетів до сформованого спеціалізованого словника

Результатом виконання описаних вище дій є **НОВИЙ** спеціалізований словник, побудований на основі універсального лексико-семантичного ресурсу. У межах даного етапу розглянемо, яким чином можна уточнювати наповнення вже існуючого словника. Слід зазначити, що механізм доповнення словника багато у чому подібний до вже розглянутих етапів, тому нижче виокремимо лише ті кроки, які найбільш відрізняються від попередніх.

**Крок 2.4.1.** Відбір з нових документів слів та відповідних синсетів, які ще не містяться у спеціалізованому словнику:

$$\begin{aligned} W_{add} &\subset (W \setminus W_{dict}), \quad S_{add} \subset (S \setminus S_{dict}), \\ \forall s_t \in S_{add} \\ \exists w_t \in W_{add} : \text{getsynset}(w_t) \cap (S \setminus S_{dict}) &= X \ni s_t, \\ \text{де } X &\neq \emptyset \end{aligned} \quad (8)$$

де  $W_{add}, S_{add}$  — множини відібраних слів та синсетів;  $W_{dict}, S_{dict}$  — множини слів та синсетів, які входять до спеціалізованого словника.

Звідси можна зробити висновок про те, що універсальний лексико-семантичний словник залучається до процесу уточнення спеціалізованого словникового ресурсу так само, як і на стадії створення останнього.

**Крок 2.4.2.** Побудова шляхів від кожного  $s \in S_{add}$  до найближчих за структурою словника синсетів  $s_x \in S_{add}$  та  $s_y \in S_{dict}$ .

Дії, виконання яких передбачається на даному кроці, дозволяють:

1) встановити семантичні зв'язки між вже сформованим спеціалізованим словником та множиною синсетів, відібраних на попередньому кроці:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{s_{path} \subset S \mid s_{path} = \text{shortpath}(s_b, s_e)\}, \\ \text{де } s_b &\in S_{add} \wedge s_e \in S_{dict} \wedge |s_{path}| < \max \text{dist}; \\ S_2 &= \{s_{path} \subset S \mid s_{path} = \text{shortpath}(s_b, s_e)\}, \\ \text{де } s_b &\in S_{dict} \wedge s_e \in S_{add} \wedge |s_{path}| < \max \text{dist}; \end{aligned} \quad (9)$$

2) встановити семантичні зв'язки всередині множини синсетів  $S_{add}$ :

$$\begin{aligned} S_3 &= \{s_{path} \subset S \mid s_{path} = \text{shortpath}(s_b, s_e)\}, \\ \text{де } s_b, s_e &\in S_{add} \wedge |s_{path}| < \max \text{dist}. \end{aligned} \quad (10)$$

Множину синсетів, отриманих на даному кроці, можна визначити як:

$$S_{add}' = (S_1 \cup S_2 \cup S_3) \cap (S \setminus S_{dict}). \quad (11)$$

**Крок 2.4.3.** Побудова шляхів від кожного із синсетів  $s \in S_{add}$  до синсетів верхнього рівня.

Здійснюється аналогічно до розглянутого вище відповідного кроку етапу розширення множини синсетів з метою дотримання умови системності лексики словника (див. крок 2.3.2).

Нехай результатом виконання даного кроку є множина  $S_{add}''$ . Тоді до словника будуть додані синсети  $S_{add}' \cup S_{add}''$ .

Відображення отриманої множини синсетів на множину  $W$  та перевірка цілісності допрацьованого спеціалізованого словника проводиться так само, як це було описано раніше.

Зазначимо, що повністю видаляти слова та синсети з універсального wordnet-словника, які не увійшли до спеціалізованого ресурсу, не доцільно, тому що у такому випадку розробники будуть позбавлені можливості вносити будь-які зміни до останнього. Тому пропонується ввести ранжування вмісту словника за ознакою частоти входження лексем та відповідних синсетів до вихідних текстів, а також до складу допоміжних побудованих ланцюжків в універсальному словнику. До обробки програмними засобами, які використовують модифікований словник, у такому випадку будуть залучатися слова, які мають показник частоти більший встановленого порогового значення.

### 3. Дослідження ефективності використання спеціалізованого словника

Для підтримки впровадження вищезазначених змін у wordnet-словник було створено допоміжне програмне забезпечення. Аналіз ефективності використання спеціалізованого словника проводився на прикладі задачі виправлення орфографічних помилок у вузькотематичних текстових даних: було порівняно швидкість роботи інформаційної системи з підключеним до неї універсальним і модифікованим словником та точність отриманих результатів. На основі одержаних даних можна зробити висновки, що побудований згідно з запропонованим підходом словник може виконувати усі функції універсального словника, але при цьому час обробки нашого словника та кількість невірних варіантів виправлення, які формуються програмою, відчутно зменшилися (для проведеного дослідження час обробки зменшився до 1, 5 разів, а кількість гіпотез виправлення — до 3 разів).

### Висновки

Запропонований підхід до формування спеціалізованого лексико-семантичного словника передбачає його автоматизоване створення на основі існуючого універсального wordnet-ресурсу. Врахування особливостей терміносистеми конкретної предметної галузі при цьому дозволяє відбирати для нового словника релевантні лексеми та синонімічні ряди. Описані узагальнені етапи та окремі кроки щодо формування достатньо наповненого, цілісного та ієрархічно упорядкованого словника, за допомогою якого можна адекватно аналізувати текстові дані з певної тематики.

Дослідження ефективності використання створеного словникового ресурсу показали підвищення швидкодії та точності роботи програмного забезпечення, яке його використовує. Перевагами даного підходу також є зниження трудомісткості та часу розробки словника.

Таким чином, побудова лексико-семантичного словника з урахуванням особливостей мови конкретної сфери людської діяльності відіграє важливу роль при розробці спеціалізованого програмного забезпечення обробки текстових даних. Отримані внаслідок застосування запропонованого підходу результати можуть бути використані для подальшого вивчення проблеми створення програмного інструментарію лінгвістичної підтримки роботи спеціалістів будь-якої галузі.

**Список літератури:** 1. *Коголовский М.Р.* Перспективные технологии информационных систем. — М.: АйТи: ДМК, 2003. — 284 с. 2. *Язык закона /* Под ред. А.С.Пиголкина. — М., 1990 — 189 с. 3. *Артикуца Н.В.* Мова права і юридична термінологія [Навч. посіб. для студ. юрид. спец. вищ. навч. закл.] / Нац. ун-т «Києво-Могилян. акад.», Центр інновац. методик правн. освіти. — [2-е вид., змін. і допов.]. — К.: Стилос, 2004. — 275 с. 4. *Карпіловська Є.А.* Вступ до комп'ютерної лінгвістики. — Донецьк: ТОВ «Юго-Восток, Лтд», 2003. — 184 с. 5. *Толста С.А.* Актуальні питання уніфікації та стандартизації юридичних термінів // Гуманітарна освіта в технічних вищих навчальних закладах. — 2003. — Вип. 7. — С. 64–69. 6. *Право і лінгвістика:* Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф.: У 2-х ч. — Сімф.: ДОЛЯ, 2004. 7. *Wordnet — a Lexical Database for English.* Princeton University, Princeton, NJ, 2001 8. *Марченко О.О.* Алгоритми семантичного аналізу природномовних текстів: Дис...канд.фіз.-мат. наук:01.05.01/ КНУ ім. Тараса Шевченка. — К., 2005. — 150 с. 9. *Новиков Ф.А.* Дискретная математика для программистов. — СПб: Питер, 2000. — 304 с.: ил.

*Надійшла до редколегії 27.09.2007*

УДК 519.859



## Ф-ФУНКЦИИ ДЛЯ НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ КРУГОВЫХ СЕГМЕНТОВ И БАЗОВЫХ 2D ОБЪЕКТОВ

Е.А. Ступак<sup>1</sup>, Т.Е. Романова<sup>2</sup>, М.В. Злотник<sup>3</sup><sup>1</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, cats\_sea@mail.ru<sup>2</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, sherom@kharkov.ua<sup>3</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, zlotnik@ipmach.kharkov.ua

Приводятся конструктивные средства математического моделирования отношений включения, пересечения, касания, расположения на заданном расстоянии неориентированных круговых сегментов и базовых объектов, допускающих отображения трансляции и поворота. Используется метод Ф-функций для неориентированных геометрических объектов.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОТНОШЕНИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ, ТРАНСЛЯЦИЯ, ПОВОРОТ, КРУГОВЫЕ СЕГМЕНТЫ, МНОГОУГОЛЬНИКИ, КРУГИ, Ф-ФУНКЦИЯ

### Введение

Задачи упаковки, раскроя и покрытия (Packing Cutting and Covering), в дальнейшем — задачи размещения, возникают в различных областях науки и техники, например, в легкой и тяжелой промышленности при построении карт раскроя материала, в задачах аппаратурно-технологической компоновки. Кроме того, интересные приложения встречаются в медицине (планирование радиохирургического лечения), в химическом машиностроении (при моделировании процессов транспортировки и смешивания сыпучих материалов), ядерной энергетике (для компьютерного моделирования упаковки топливных элементов, в системах проектирования захоронения радиоактивных отходов), робототехнике и т. д.

Достаточно полный обзор литературы, посвященной 2D задачам размещения, приведен в работе [1]. В большинстве своем публикации посвящены проблемам размещения кругов и ориентированных многоугольников. Предлагаемые подходы, как правило, используют различные эвристики и модификации метода оптимизации по группам переменных. В статье [2] рассматривается метод решения оптимизационной задачи размещения базовых неориентированных объектов, основанный на комбинации методов возможных направлений Зонтендейка и сужающихся окрестностей. В статье [3] авторы излагают эвристический подход к решению задачи размещения геометрических объектов с нелинейной границей. Оригинальный метод решения задачи размещения конгруэнтных прямоугольных объектов в составной области с нелинейной границей приводится в [11].

Следует также отметить, что, несмотря на высокий уровень организации архитектуры баз знаний существующих интеллектуальных систем решения задач размещения, их построение основывается на узкой классификации пространственных форм

геометрических объектов, ограничений и функций цели. Это объясняется отсутствием фундаментальной основы математического моделирования задач данного класса, в том числе конструктивных средств аналитического описания отношений геометрических объектов, обладающих конкретными пространственными формами, метрическими характеристиками и параметрами размещения.

Разработка эффективных методов решения оптимизационных задач размещения неориентированных составных объектов (объектов, граница которых образована объединением линейных и нелинейных сегментов, (рис.1)) требует построения математических моделей, которые позволяют применить для решения этих задач методы локальной и глобальной оптимизации.

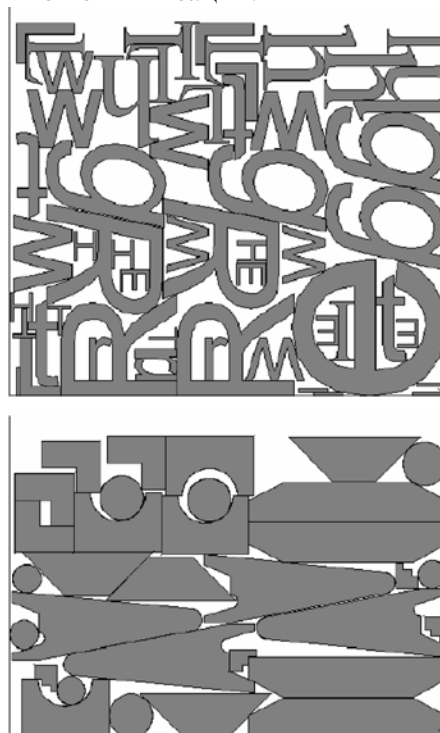


Рис.1. Примеры размещения базовых и составных геометрических объектов



## 1. Метод Ф-функций

Основой построения математических моделей задач рассматриваемого класса является аналитическое описание отношений включения, пересечения, касания, расположения на заданном расстоянии пары геометрических объектов, обладающих произвольной пространственной формой.

Конструктивным средством математического моделирования задач размещения является метод Ф-функций [4].

В работах [5, 6] приведены Ф-функции для базовых и составных ориентированных геометрических объектов (допускающих аффинные преобразования только трансляции).

Полный класс Ф-функций для ориентированных базовых объектов и круговых сегментов приводится в [7]. Ф-функции базовых неориентированных объектов (допускающих аффинные преобразования трансляции и поворота) построены в [8, 9].

Поскольку некоторые составные объекты могут быть представлены в виде объединения и пересечения базовых объектов и круговых сегментов, целью данных исследований является построение Ф-функций для неориентированных круговых сегментов и базовых объектов.

Для удобства и краткости введем следующие обозначения:  $C$  — круги,  $K$  — выпуклые многоугольники,  $S$  — круговые сегменты,  $C_i^* = cl(R^2 \setminus C_i)$ ,  $K_i^* = cl(R^2 \setminus K_i)$ ,  $S_i^* = cl(R^2 \setminus S_i)$ ,  $T^* = cl(R^2 \setminus T)$ , где  $cl(T)$  — топологическое замыкание [10] объекта  $T \in \{C, K, S\}$ . Полагаем, что объекты задаются следующим образом:  $C = \{(x, y) \in R^2 \mid x^2 + y^2 - r^2 \leq 0\}$ , где  $r$  — радиус круга  $C$ ;  $K = conv\{v_i = (\bar{x}_i, \bar{y}_i), i = 1, \dots, n\}$ ,  $conv\{\}$  — выпуклая оболочка множества  $\{\}$ ,  $v_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  — вершины многоугольника, заданные в собственной системе координат многоугольника против часовой стрелки; круговые сегменты  $S = T = T_{12} \cap T_{22} = \bar{C} \cap \bar{H}$ , где  $T_{12} = \bar{C}$ ,  $T_{22} = \bar{H}$ ,

$$\bar{C} = \{(x, y) \in R^2 : g_0(x, y) \leq 0\},$$

$$g_0(x, y) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r^2,$$

$$\bar{H} = \{(x, y) \in R^2 \mid g_1(x, y) \leq 0\},$$

$g_1(x, y) = Ax - By + C$ ,  $A^2 + B^2 = 1$ , если  $s_0 = (x_0, y_0) \in S$  и  $\bar{H} = \{(x, y) \in R^2 \mid g_1(x, y) \geq 0\}$ , если  $s_0 \notin S$ , при этом  $fr S = arc(s^1, s^2) \cup [s^2, s^1]$ , где  $s^1 = (\hat{x}^1, \hat{y}^1)$  и  $s^2 = (\hat{x}^2, \hat{y}^2)$ ,  $arc(s^1, s^2)$  — дуга окружности  $\bar{C}$ ,  $[s^2, s^1]$  — отрезок прямой  $fr \bar{H}$ .

Полагаем, что полюс объектов совпадает с началом их собственной системы координат и является центром окружности  $C$  или  $\bar{C}$  для  $C$ ,  $C^*$  или  $S$ ,  $S^*$ ; внутренней точкой многоугольника  $K$  для  $K$  и  $K^*$ .

Положение объекта в пространстве  $R^2$  задают параметры размещения  $u = (v, \theta) = (x, y, \theta)$ , где  $(x, y)$  — вектор трансляции объекта  $T$ , а  $\theta$  — угол поворота объекта относительно центра собственной системы координат. В дальнейшем  $T(u) = T(v, \theta)$  — объект, транслированный на вектор  $v$  и повернутый на угол  $\theta$ .

Если объект  $T \in \{S, S^*, K, K^*\}$  может вращаться, то координаты точек  $s^1, s^2$  объекта  $T \in \{S, S^*\}$  зависят от углового параметра, то есть  $s^{i'} = s^i(\theta) = (\hat{x}^{i'}, \hat{y}^{i'})$  и задаются следующим образом:

$$\hat{x}^{i'} = \hat{x}^i \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^i \cdot \sin(\theta),$$

$$\hat{y}^{i'} = -\hat{x}^i \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^i \cdot \cos(\theta), \quad i = 1, 2;$$

координаты вершин объекта  $T \in \{K, K^*\}$  зависят от углового параметра, то есть  $v_i' = v_i(\theta) = (\bar{x}_i', \bar{y}_i')$  и задаются так:

$$\bar{x}_i' = \bar{x}_i \cdot \cos(\theta) + \bar{y}_i \cdot \sin(\theta),$$

$$\bar{y}_i' = -\bar{x}_i \cdot \sin(\theta) + \bar{y}_i \cdot \cos(\theta), \quad i = 1, \dots, n.$$

По определению [8] Ф-функция — это непрерывная, всюду определенная функция  $\Phi: R^6 \rightarrow R^1$  объектов  $T_1(u_1)$  и  $T_2(u_2)$ , такая, что  $\Phi(u_1, u_2) > 0$ , если объекты  $T_1(u_1)$  и  $T_2(u_2)$  не пересекаются;  $\Phi(u_1, u_2) = 0$ , если объекты касаются, то есть имеют общие только граничные точки;  $\Phi(u_1, u_2) < 0$ , если объекты  $T_1(u_1)$  и  $T_2(u_2)$  имеют общие внутренние точки.

В данном исследовании строятся Ф-функции для неориентированных круговых сегментов и базовых объектов.

Для построения Ф-функций обозначенных выше объектов в работе используется подход, изложенный в работах [4, 9].

Пусть уравнение  $\chi(u) = 0$  определяет поверхность

$$\gamma_{12} = fr T_{12} \subset R^3,$$

где  $T_{12} = \bigcup_{\theta_2} T_{12}(\theta_2)$ ,

здесь  $T_{12}(\theta_2) = T_1(0, 0, 0) \oplus (-1) \cdot T_2(0, 0, \theta_2)$  — сумма Минковского двух объектов  $T_1(0)$  и  $T_2(\theta_2)$ . Поверхность  $\gamma_{12}$  делит пространство  $R^3$  на два множества  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  таким образом, что  $\Gamma_1 \cup \gamma_{12} \cup \Gamma_2 = R^3$ ,  $\Gamma_1 = \text{int } \Gamma_1$ ,  $\Gamma_2 = \text{int } \Gamma_2$ ,  $fr \Gamma_1 = fr \Gamma_2 = \gamma_{12}$ .

Уравнение  $\chi(u) = 0$  называется ориентированным, если функция  $\chi(u)$  всюду определена в пространстве  $R^3$  и на множествах  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  знаки значений функции  $\chi(u)$  противоположны, то есть  $\chi(w) \cdot \chi(v) < 0$  для любых  $w \in \Gamma_1$  и  $v \in \Gamma_2$ .

Стратегия построения Ф-функций двух неориентированных объектов состоит в следующем:

1. Фиксируем объект  $T_1$  и полагаем  $u_1(0, 0, 0) = 0$ .
2. Строим уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности нулевого уровня Ф-функции для объектов  $T_1(0, 0, 0)$

и  $T_2(x_2, y_2, \theta_2)$ , основываясь на уравнении поверхности 0-уровня  $\Phi$ -функции для ориентированных объектов  $T_1(0, 0, 0)$  и  $T_2(x_2, y_2, 0)$ .

3. Задаем ориентацию уравнения  $\chi(u) = 0$  таким образом, чтобы  $\chi(u^*) < 0$ , если  $u^* \in \text{int } T_{12}$ , и  $\chi(u^*) > 0$  в случае, если  $u^* \in R^3 \setminus T_{12}$ ,  $u^* = (x^*, y^*, \theta^*)$ .

4. Полагаем  $\Phi(0, 0, 0, x_2, y_2, \theta_2) = \chi(x_2, y_2, \theta_2)$ .

5. Определяем  $\Phi$ -функцию

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x'_2 - x'_1, y'_2 - y'_1, \theta_2 - \theta_1),$$

где  $x'_i = x_i \cos \theta_1 - y_i \sin \theta_1$ ;  $y'_i = x_i \sin \theta_1 + y_i \cos \theta_1$ ;  $i = 1, 2$ .

В случае, если  $T_1 \subset \{C, C^*\}$ , тогда

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x_2 - x_1, y_2 - y_1, \theta_2),$$

поскольку  $\theta_1 \equiv 0$ ,  $x'_i = x_i$ ,  $y'_i = y_i$ ,  $i = 1, 2$ .

А если  $T_2 \subset \{C, C^*\}$ , тогда

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x'_2 - x'_1, y'_2 - y'_1, -\theta_1)$$

поскольку  $\theta_2 \equiv 0$ .

## 2. $\Phi$ -функции неориентированных круговых сегментов и базовых объектов

Следуя стратегии, изложенной выше, построим  $\Phi$ -функции для пар объектов из множества  $\{C, K, S, C^*, K^*, S^*\}$ . Поскольку  $\Phi$ -функции для базовых ориентированных и неориентированных объектов:  $C(u_1)$  и  $C(u_2)$ ,  $C^*(u_1)$  и  $C(u_2)$ ,  $K(u_1)$  и  $K(u_2)$ ,  $C(u_1)$  и  $K(u_2)$ ,  $C^*(u_1)$  и  $K(u_2)$ ,  $K^*(u_1)$  и  $C(u_2)$ ,  $K^*(u_1)$  приведены в статьях [5, 8, 9], то в данном исследовании строятся  $\Phi$ -функции для следующих пар неориентированных объектов:  $C(u_1)$  и  $S(u_2)$ ,  $S^*(u_1)$  и  $C(u_2)$ ,  $C^*(u_1)$  и  $S(u_2)$ ,  $S(u_1)$  и  $K(u_2)$ ,  $S^*(u_1)$  и  $K(u_2)$ .

Рассмотрим каждую из перечисленных выше пар объектов непосредственно.

**2.1. Круг  $C(u_1)$  и неориентированный сегмент  $S(u_2)$ .** Строим уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности

$$frT_{12}(\theta_2) = fr\{C_1(0, 0, 0) \oplus (-1) \cdot S_2(0, 0, \theta_2)\},$$

то есть уравнение проекции поверхности нулевого уровня  $\Phi$ -функции для объектов  $C(u_1)$  и  $S(u_2)$ .

С этой целью введем функцию следующего вида:

$$\chi(u) = \max\{\min\{\omega^0(u), \varphi^0(u)\}, \min\{\omega^1(u), \psi^1(u)\}, \min\{\omega^2(u), \psi^2(u)\}, \varphi(u)\},$$

где

$$\omega^0(u) = x^2 + y^2 - r^2, \quad r = r_1 + r_2,$$

$$\omega^k(u) = (x + \hat{x}^k \cos(\theta) + \hat{y}^k \sin(\theta))^2 + (y - \hat{x}^k \sin(\theta) + \hat{y}^k \cos(\theta))^2 - r_1^2, \quad k = 1, 2.$$

$$\varphi(u) = A(\theta) \cdot x - B(\theta) \cdot y + C(\theta),$$

$$A(\theta) = \tilde{y}^1 - \tilde{y}^2, \quad B(\theta) = \tilde{x}^1 - \tilde{x}^2$$

$$C(\theta) = -A^1(\theta) \cdot \tilde{x}^1 + B^1(\theta) \cdot \tilde{y}^2,$$

здесь

$$(\tilde{x}^k, \tilde{y}^k) = -(\hat{x}^k, \hat{y}^k) + \frac{r_i}{\sqrt{\tilde{A}^2(\theta) + \tilde{B}^2(\theta)}} \begin{pmatrix} \tilde{A}(\theta) \\ -\tilde{B}(\theta) \end{pmatrix}, \quad k = 1, 2,$$

$$\tilde{A}(\theta) = \sin(\theta)(-\hat{x}^2 + \hat{x}^1) - \cos(\theta)(-\hat{y}^2 + \hat{y}^1),$$

$$\tilde{B}(\theta) = \cos(\theta) \cdot (\hat{x}^2 - \hat{x}^1) + \sin(\theta) \cdot (\hat{y}^2 - \hat{y}^1);$$

$$\varphi^0(u) = A^0(\theta) \cdot x - B^0(\theta) \cdot y + C^0(\theta), \quad A^0(\theta) = \tilde{y}^1 - \tilde{y}^2,$$

$$B^0(\theta) = \tilde{x}^1 - \tilde{x}^2, \quad C^0(\theta) = -A^0(\theta) \cdot \tilde{x}^2 + B^0_j(\theta) \cdot \tilde{y}^2,$$

где  $(\tilde{x}^k, \tilde{y}^k) = -(\hat{x}^k, \hat{y}^k) +$

$$+ \frac{r_i}{\sqrt{(A^k(\theta))^2 + (B^k(\theta))^2}} \begin{pmatrix} B^k(\theta) \\ A^k(\theta) \end{pmatrix}$$

$$A^k(\theta) = \hat{x}^k \sin(\theta) - \hat{y}^k \cos(\theta),$$

$$B^k(\theta) = -\hat{x}^k \cos(\theta) - \hat{y}^k \sin(\theta), \quad k = 1, 2;$$

$$\psi^k(u) = \frac{r_1}{\tilde{x}^k \tilde{y}^k - \tilde{y}^k \tilde{x}^k} (A^r(\theta) \cdot x - B^r(\theta) \cdot y + C^r(\theta)),$$

$k = 1, 2$ ,  $r = 3, 4$ , соответственно.

$$A^r(\theta) = \tilde{y}^k - \tilde{y}^k, \quad B^r_j(\theta) = \tilde{x}^k - \tilde{x}^k,$$

$$C^r(\theta) = -A^r(\theta) \cdot \tilde{x}^k + B^r(\theta) \cdot \tilde{y}^k.$$

Тогда  $\Phi$ -функция круга  $C(u_1)$  и неориентированного сегмента  $S(u_2)$  примет вид

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x_2 - x_1, y_2 - y_1, \theta_2).$$

**2.2. Неориентированный многоугольник  $K(u_1)$  и неориентированный сегмент  $S(u_2)$ .** Задаем уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности

$$frT_{12}(\theta_2) = fr\{K_1(0, 0, 0) \oplus (-1) \cdot S_2(0, 0, \theta_2)\}.$$

В этом случае функция  $\chi(u)$  определяется так:

$$\chi(u) = \max\{\max_{k=1, \dots, k_1+1} \min\{\omega^k(u), \psi^k(u)\}, \chi_{i1}^1(u),$$

$$\chi_{i1}^2(u), \chi_{i2}^1(u), \chi_{i2}^2(u), \max_{k=1, \dots, k_1+k_2+1} \chi^k(u)\},$$

где  $\omega^k(u) = (x - \bar{x}^k)^2 + (y - \bar{y}^k)^2 - r_2^2,$

$$i^m = \arg \min_{j=1, \dots, L} (d^m)^T \cdot (\bar{x}^j, \bar{y}^j),$$

$$t^m(u) = (d^m)^T ((\bar{x}^{i^m}, \bar{y}^{i^m}) - u),$$

$$d^m(\hat{x}_d^m, \hat{y}_d^m) := \frac{(\bar{x}^m, \bar{y}^m)}{\|(\bar{x}^m, \bar{y}^m)\|},$$

$$\bar{x}^m = \hat{x}^m \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^m \cdot \sin(\theta),$$

$$\bar{y}^m = -\hat{x}^m \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^m \cdot \cos(\theta), \quad m = 1, 2.$$

$$\psi^k(u) = \frac{r_2}{\bar{x}^{k-1} \bar{y}^k - \bar{x}^k \bar{y}^{k-1}} (\tilde{A}^k x - \tilde{B}^k y + \tilde{C}^k),$$

здесь  $\tilde{A}^k = \tilde{y}^k - \tilde{y}^{k-1}$ ,  $\tilde{B}^k = \tilde{x}^k - \tilde{x}^{k-1}$ ,  
 $\tilde{C}^k = -\tilde{A}^k \tilde{x}^{k-1} + \tilde{B}^k \tilde{y}^{k-1}$ ,  $k \in I = \{i^1, \dots, i^2\}$ ,

при этом, полагаем  $k = l + 1$ , когда  $k = 1$ .

Координаты точек  $\tilde{v}^r = (\tilde{x}^r, \tilde{y}^r)$  определяются следующим образом:

$$\tilde{v}^r = (\tilde{x}^r, \tilde{y}^r) = \frac{r_2}{\sqrt{(A_{i_1}^r)^2 + (B_{i_1}^r)^2}} \begin{pmatrix} A_{i_1}^r \\ -B_{i_1}^r \end{pmatrix}, \quad r = i_1, i_2,$$

$$\tilde{v}^r = (\tilde{x}^r, \tilde{y}^r) = \frac{r_2}{\sqrt{(A^r)^2 + (B^r)^2}} \begin{pmatrix} A^r \\ -B^r \end{pmatrix}, \quad r = i_1 + 1, i_2 - 1.$$

Функции  $\chi_{i_1}^m(u)$  задаются

$$\chi_{i_1}^m(u) = A_i^m(\theta) \cdot x - B_i^m(\theta) \cdot y + C_i^m(\theta),$$

где  $A_i^m(\theta) = -\hat{x}_d^m$ ,  $B_i^m(\theta) = \hat{y}_d^m$ ,

$$C_i^m(\theta) = \hat{x}_d^m \cdot (\bar{x}^m) + \hat{y}_d^m \cdot (\bar{y}^m) - r_2, \quad m = i_1, i_2.$$

$$\chi_{i_2}^k(u) = A_i^k(\theta) \cdot x - B_i^k(\theta) \cdot y + \bar{C}_i^k(\theta),$$

$$\bar{C}^k(\theta) = \min\{\chi_{i_1}^k((\hat{x}^1 \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^1 \cdot \sin(\theta)),$$

$$(-\hat{x}^1 \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^1 \cdot \cos(\theta))),$$

$$\chi_{i_1}^k((\hat{x}^2 \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \sin(\theta)),$$

$$(-\hat{x}^2 \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \cos(\theta)))\}, k = 1, 2$$

$$\chi^k(u) = A^k x - B^k y + C^k, \quad A^k = \bar{y}^{k+1} - \bar{y}^k,$$

$$B^k = \bar{x}^{k+1} - \bar{x}^k, \quad \bar{C}^k = (-A^r \cdot \bar{x}^k + B^r \cdot \bar{y}^k) - r_2,$$

$$k = I_1 = \{i^1, \dots, i^2 - 1\}, \quad k_1 = \text{card } I_1,$$

при этом, если  $k = l + 1$ , тогда  $k = 1$ .

$$\tilde{v}^r = (\tilde{x}^r, \tilde{y}^r) = \frac{r_2}{\sqrt{(A_{i_1}^r)^2 + (B_{i_1}^r)^2}} \begin{pmatrix} A_{i_1}^r \\ -B_{i_1}^r \end{pmatrix}, \quad r = i_1, i_2,$$

$$\tilde{v}^r = (\tilde{x}^r, \tilde{y}^r) = \frac{r_2}{\sqrt{(A^r)^2 + (B^r)^2}} \begin{pmatrix} A^r \\ -B^r \end{pmatrix}, \quad r = i_1 + 1, i_2 - 1,$$

$$\chi^k(u) = A^k x - B^k y + C^k,$$

$$A^k = \bar{x}^{k+1} - \bar{x}^k, \quad B^k = \bar{y}^{k+1} - \bar{y}^k,$$

$$\bar{C}^k = -A^k \cdot \bar{x}^k + B^k \cdot \bar{y}^k, \quad \bar{\chi}^k(u) = A^k x - B^k y + \bar{C}^k(\theta),$$

$$C^k(\theta) = \min\{\bar{\chi}^k((\hat{x}^1 \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^1 \cdot \sin(\theta)), (-\hat{x}^1 \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^1 \cdot \cos(\theta))),$$

$$\bar{\chi}^k((\hat{x}^2 \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \sin(\theta)), (-\hat{x}^2 \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \cos(\theta)))\},$$

$$k = I_2 = \{i^2, \dots, i^1 - 1\}, \quad k_2 = \text{card } I_2,$$

если  $k = l + 1$ , тогда  $k = 1$ .

$$\chi^k(u) = -A^k(\theta) \cdot x + B^k(\theta) \cdot y + C^k(\theta),$$

$$A^k(\theta) = -\sin(\theta) \cdot (\hat{x}^1 - \hat{x}^2) + \cos(\theta) \cdot (\hat{y}^1 - \hat{y}^2),$$

$$B^k(\theta) = \cos(\theta) \cdot (\hat{x}^1 - \hat{x}^2) + \sin(\theta) \cdot (\hat{y}^1 - \hat{y}^2),$$

$$\bar{C}^k(\theta) = -A^k \cdot (\hat{x}^2 \cdot \cos(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \sin(\theta)) + B^k \cdot (-\hat{x}^2 \cdot \sin(\theta) + \hat{y}^2 \cdot \cos(\theta)),$$

$$\bar{\chi}^k(u) = A^k(\theta) \cdot x - B^k(\theta) \cdot y + \bar{C}^k(\theta),$$

$$C^k(\theta) = \min_{i=1, \dots, l} \bar{\chi}^k(\bar{x}^i, \bar{y}^i), \quad k = k_1 + k_2 + 1.$$

Тогда Ф-функция неориентированного многоугольника  $K(u_1)$  и неориентированного сегмента  $S(u_2)$  определяется так:

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x'_2 - x'_1, y'_2 - y'_1, \theta_2 - \theta_1).$$

**2.3. Объект  $C^*(u_1)$  и неориентированный сегмент  $S(u_2)$ .** Строим уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности

$$frT_{12}(\theta_2) = fr\{C_1^*(0, 0, 0) \oplus (-1) \cdot S_2(0, 0, \theta_2)\},$$

где  $\chi(u) = \max\{\min\{\omega^1(u), \omega^2(u), \psi(u)\}, \omega^0(u)\}$ ,

здесь  $\omega^0(u) = -x^2 - y^2 + r^2$ ,  $r = r_1 - r_2$ ,

$$\omega^k(u) = -(x + \hat{x}^k \cos(\theta) + \hat{y}^k \sin(\theta))^2 - (y - \hat{x}^k \sin(\theta) + \hat{y}^k \cos(\theta))^2 + r_1^2, \quad k = 1, 2,$$

$$\psi(u) = A(\theta) \cdot x - B(\theta) \cdot y + C(\theta),$$

$$A(\theta) = \hat{y}_1^* - \hat{y}_2^*, \quad B(\theta) = \hat{x}_1^* - \hat{x}_2^*,$$

$$C(\theta) = -A \hat{x}_2^* + B \hat{y}_2^*,$$

$$s_k^*(\hat{x}_k^*, \hat{y}_k^*) = \frac{r}{\sqrt{A_k^2(\theta) + B_k^2(\theta)}} \begin{pmatrix} B_k(\theta) \\ A_k(\theta) \end{pmatrix},$$

$$A_k(\theta) = -\hat{x}_k \cdot \sin(\theta) + \hat{y}_k \cdot \cos(\theta),$$

$$B_k(\theta) = \hat{x}_k \cdot \cos(\theta) + \hat{y}_k \cdot \sin(\theta), \quad k = 1, 2.$$

Таким образом, Ф-функция объекта  $C^*(u_1)$  и неориентированного сегмента  $S(u_2)$  может быть задана в следующем виде:

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x_2 - x_1, y_2 - y_1, \theta_2).$$

**2.4. Неориентированный объект  $S^*(u_1)$  и круг  $C(u_2)$ .** Строим уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности

$$frT_{12}(\theta_1) = fr\{S_1^*(0, 0, \theta_1) \oplus (-1) \cdot C_2(0, 0, 0)\},$$

определяя

$$\chi(u) = \min\{\omega(u), \psi(u)\},$$

где

$$\omega(u) = -x^2 - y^2 + r^2, \quad r = r_1 - r_2,$$

$$\psi(u) = A \cdot x - B y + C',$$

$$C' = C - r_2, \quad A = \hat{y}^1 - \hat{y}^2,$$

$$B = \hat{x}^1 - \hat{x}^2, \quad C = -A \hat{x}^1 + B \hat{y}^1.$$

Тогда  $\Phi$ -функция неориентированного объекта  $S^*(u_1)$  и круга  $C(u_2)$  примет вид:

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x'_2 - x'_1, y'_2 - y'_1, -\theta_1).$$

**2.5. Неориентированный объект  $S^*(u_1)$  и неориентированный многоугольник  $K(u_2)$ .** Задаем уравнение  $\chi(u) = 0$  поверхности

$$frT_{12}(\theta_1) = fr\{S_1^*(0, 0, \theta_1) \oplus (-1) \cdot K_2(0, 0, 0)\},$$

где  $\chi(u) = \min\{\bar{\chi}(u), \min_{i=1, \dots, n} \bar{\omega}_i(u)\}$ ,

здесь  $\bar{\omega}_i(u) = r^2 - (x + \bar{x}^i \cdot \cos(\theta) + \bar{y}^i \cdot \sin(\theta))^2 - (y - \bar{x}^i \cdot \sin(\theta) + \bar{y}^i \cdot \cos(\theta))^2$ ,

$$\bar{\chi}(u) = Ax - By + C, A = \hat{y}^1 - \hat{y}^2, B(\theta_1) = \hat{x}^1 - \hat{x}^2,$$

$$C = -A\hat{x}^1 + B\hat{y}^1, k = \arg \min_{i=1, \dots, l} \chi(\bar{x}^i, \bar{y}^i),$$

где  $(\bar{x}^i, \bar{y}^i) = (\bar{x}^i \cdot \cos(\theta) + \bar{y}^i \cdot \sin(\theta), -\bar{x}^i \cdot \sin(\theta) + \bar{y}^i \cdot \cos(\theta))$ .

$\Phi$ -функция неориентированного объекта  $S^*(u_1)$  и неориентированного многоугольника  $K(u_2)$  может быть определена следующим образом:

$$\Phi(u_1, u_2) = \chi(x'_2 - x'_1, y'_2 - y'_1, \theta_2 - \theta_1).$$

### Выводы

Рассмотренные в данной статье  $\Phi$ -функции являются конструктивным средством математического моделирования задач размещения базовых объектов и круговых сегментов, а также составных геометрических объектов, имеющих более сложную структуру, то есть несвязных объектов с многосвязными компонентами связности, граница которых образована объединениями дуг и отрезков прямых.

Построенные  $\Phi$ -функции можно использовать для решения оптимизационных задач геометрического проектирования (задачи раскроя, упаковки и покрытия), в которых объекты могут не только транслироваться, но и вращаться.

**Список литературы:** 1. Dyckhoff H., Scheithauer G., Terno J. Cutting and packing// in: M. Dell'Amico, F. Maffioli and S. Martello Eds. Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization, John Wiley & Sons, Chichester. — 1997. — P. 393-412. 2. Стоян Ю.Г., Злотник М.В. Размещение кругов и невыпуклых многоугольников с поворотами в прямоугольнике минимальной длины // Докл. НАН Украины. — 2007. — № 2. — С. 37-42. 3. Burke E., Heller R., Kendall G., Whitwell G. A new bottom-left-fill heuristic algorithm for the two-dimensional irregular packing problem//Operational research, 2004, Volume 53, N3. 4. Stoyan Yu. G.  $\Phi$ -function and its basic properties// Докл. АН Украины. Сер. А. — 2001. — № 8. — С. 112-117. 5. Stoyan Y., Terno J., Scheithauer G., Gil N., Romanova T.  $\Phi$ -function for 2D primary objects// Studia Informatica, Paris, University. — 2002. — Vol. 2, № 1. — P. 1-32. 6. Stoyan Y., Scheithauer G., Gil M., Romanova T.  $\Phi$ -function for complex 2D objects// 4OR Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies. Volume 2, Number 1, 2004 — P. 69-84. 7. Романова Т.Е., Ступак Е.А.  $\Phi$ -функции для некоторых видов составных объектов нелинейного вида// Институт проблем искусственного интеллекта НАН Украины «Искусственный интеллект» 4'2006, 2006. — С. 232-242. 8. Стоян Ю.Г.,  $\Phi$ -function of non-convex polygons with rotations//Проблемы машиностроения, В. 6, No 1, 2003, С. 74-86. 9. Злотник М.В. Полный класс  $\Phi$ -функций для кругов и многоугольников с поворотами // Радиоэлектроника и информатика. — 2006. — №3. — С. 29-33. 10. Kuratowski K. Topology// Vol. I: New York and London, — Academic press, 1966. — P. 594. 11. E.G. Birgin, J.M. Martinez, F.H. Nishihara, D.P. Ronconi Orthogonal packing of rectangular items within arbitrary convex regions by nonlinear optimization, Computers&Operations Research 33, 2006, P. 3535-3548.

Поступила в редколлегию 28.09.2007

УДК 519.767



# МОДЕЛЬ РАЗБИЕНИЯ МНОЖЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ СМЫСЛА МНОГОЗНАЧНЫХ СЛОВ ПЕРЕВОДИМОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕВОДА

Н.Ф. Хайрова<sup>1</sup>, Н.В. Шаронова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, nikhayv@vlink.kharkov.ua

<sup>2</sup> НТУ «ХПИ» г. Харьков, Украина, sharonova@kpi.kharkov.ua

Проведен анализ задач семантического анализа систем машинного перевода. Разработана модель снятия семантической омонимии многозначных слов переводимого предложения. Для разбиения множества элементов смысла многозначных слов используется метод компараторной идентификации. Показаны преимущества использования данной модели для снятия семантической многозначности в процессе автоматического перевода.

МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД, СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, КОМПАРАТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, СЕМАНТИЧЕСКАЯ ОМОНИМИЯ, КОМПОНЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

## Введение

Среди большого числа направлений интеллектуальной деятельности человека, срочно требующих автоматизации, значительное место в современном мире занимает наиболее сложный вид этой деятельности — перевод с одного естественного языка на другой естественный язык.

Потребность в автоматизации процесса перевода возникла уже давно, достаточно сказать, что первая программа машинного перевода была продемонстрирована в 1954 году, и с тех пор более 50 лет в различных научных школах мира проводятся научные исследования по улучшению качества такого перевода, главными преимуществами которого остаются скорость и дешевизна.

Одной из главных составляющих системы машинного перевода, от которой непосредственно зависит качество перевода, является лингвистический процессор. Идеальный лингвистический процессор, позволяющий создать идеальную систему, представляет собой набор процедур, осуществляющих переход от исходного текста на переводимом языке к “голому” смыслу (анализ) и назад к готовому тексту на языке перевода (синтез) [1] (рис. 1).

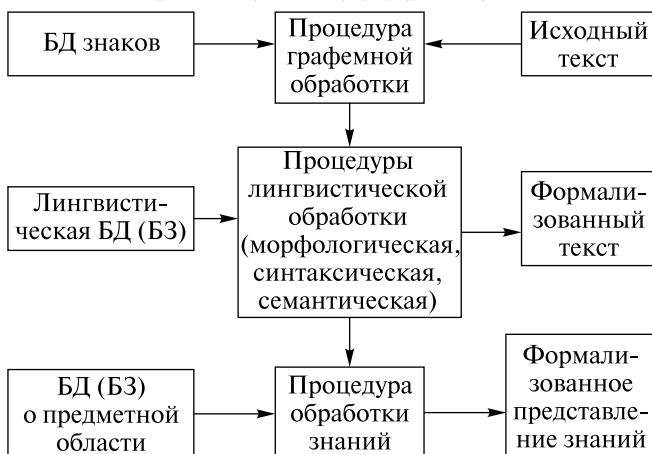


Рис. 1. Схема идеального лингвистического процессора

## 1. Актуальность исследования

На поверхностных уровнях моделирования естественного языка в системах автоматической обработки текста — морфологическом и синтаксическом, уже достигнуто достаточно много практических результатов. В аннотациях к последним версиям систем машинного перевода обычно сообщается об отсутствии грамматических ошибок.

Этап же семантического анализа по-прежнему является одним из наиболее актуальных направлений исследований в области ИИ. И если под семантическим анализом в общем случае понимается представление значения входного текста в терминах некоторого формального языка, «понятного» ЭВМ, то в современных системах машинного перевода широкого использования сущность семантического анализа сводится к выбору нужного значения переводного эквивалента [2].

Сегодня существует несколько основных направлений снятия семантической омонимии в системах машинного перевода:

- метод семантических фильтров;
- компонентный анализ;
- семантическая обработка с использованием фреймов.

Наиболее перспективным, но по-прежнему трудно реализуемым методом, является компонентный анализ, применяемый в интерлингвовых системах машинного перевода.

## 2. Постановка задачи исследования

При компонентном анализе весь словарь системы описывают с помощью ограниченного и сравнительно небольшого числа семантических признаков (сем). При переводе предложения семантическую омонимию снимают за счет привлечения к переводу знаний о тематике предложения, которые извлекаются из сочетаемости сем многозначных слов предложения.

В направлении развития компонентного анализа предлагается для выбора нужного значения (а значит правильного переводного эквивалента) многозначного слова использовать метод компараторной идентификации, который разработан научной школой Юрия Петровича Шабанова-Кушнаренко при решении проблем ИИ [3].

Вводим множество  $T$  переводных эквивалентов многозначных слов переводимого предложения (ПЭМСП)  $T = \{t_i\}, 1 \leq i \leq n$ . Введем также основное для наших рассмотрений понятие сем  $S$ . Под семами понимают атомы семантического признака, множеством которых можно описать всевозможные понятия, объединяемые в многозначном слове. Понятие формируется в сфере мышления и имеет внеязыковую природу. Но поскольку мысль не может существовать вне слова, под семой мы будем понимать лексическую единицу, представляющую определенное значение слова. Введем достаточно четко очерченное множество сем многозначных слов предложения  $S = \{s_j\}, 1 \leq j \leq m$ .

Два множества  $T$  и  $S$  являются базовыми при использовании метода компараторной идентификации переводных эквивалентов многозначных слов переводимого предложения. Центральной задачей семантического анализа предложения методом компараторной идентификации является разбиение всех сем рассматриваемых многозначных слов предложения на классы эквивалентности с тождественным или почти тождественным смыслом, то есть отнесение их к определенным темам.

### 3. Введение компонентно-семантического предиката

Введем бинарный компонентно-семантический предикат  $P$ , заданный на декартовом произведении множеств ПЭМСП и сем, отражающих смысл этих переводных эквивалентов.

Пусть компаратор реализует бинарный предикат  $P(t)$ , заданный на декартовом произведении  $T \times S$  множеств  $T$  и  $S$ . Предполагается, что семы из множества  $S$  описывают в сжатом виде смысл множества ПЭМСП  $T$ . Поэтому, когда классификатор воспринимает пару  $(t, s)$ , образованную из переводного эквивалента и семы, он устанавливает, соответствует ли сема данному переводному эквиваленту.

Компаратор, воспринимая пару, образованную из переводного эквивалента и семы, может установить, соответствует ли сема данному переводному эквиваленту, причем любой предикат  $P(t, s)$  однозначно приравняется 0 или 1.

Если предикат  $P$  равен 1, то это значит, что сема  $s$  соответствует переводному эквиваленту многозначного слова предложения  $t$ .

Если компаратор рассмотрел все возможные пары, то результат работы можно представить в виде двудольного графа, где верхнее множество вершин — это все ПЭМСП  $t_i$ , а нижнее — семы, отражающие смысл переводных эквивалентов  $s_j$ . Дуга проводится тогда и только тогда, когда предикат  $P(t_i, s_j) = 1$ . Эта система ребер описывает отображение верхнего множества в нижнее и отображение нижнего множества в верхнее.

Пример подобного графа показан на рис. 2.

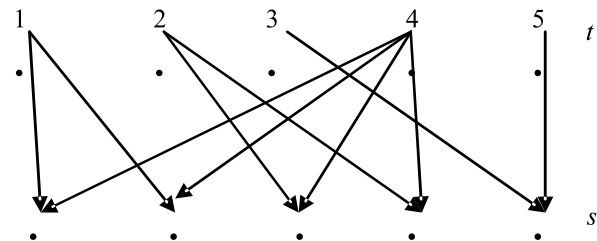


Рис. 2. Пример двудольного графа, отображающего ПЭМСП в множество сем

В этом примере множество  $S$  разбивается на три класса:  $S_1 = \{s_1, s_2\}$ ,  $S_2 = \{s_3, s_4\}$ ,  $S_3 = \{s_5\}$ .

На декартовом произведении множества ПЭМСП  $T$  можно ввести предикат эквивалентности, который отображает соответствие переводных эквивалентов одной микротеме переводимого предложения:

$$E_1(t_1, t_2) = \forall s \in S (P(t_1, s) \sim P(t_2, s)). \quad (1)$$

Предикат  $E_1$  является предикатом эквивалентности и однозначно определяется предикатом  $P$ . Предикат  $E_1(t_1, t_2)$  можно использовать для объективного определения отношения любых двух ПЭМСП  $t_1$  и  $t_2$ , принадлежащих множеству  $T$ , к одной микротеме. Действительно, если  $E_1(t_1, t_2) = 1$ , то при семе из множества  $S$ :  $P(t_1, s) = P(t_2, s)$ . Это означает, что элементы смысла переводных эквивалентов  $t_1$  и  $t_2$ , выражаемые семами из множества  $S$ , совпадают, следовательно, классификатор отнесет переводные эквиваленты  $t_1$  и  $t_2$  к одной микротеме. Если же  $E_1(t_1, t_2) = 0$ , то найдется такая сема  $s \in S$ , для которой  $P(t_1, s) \neq P(t_2, s)$ . В этом случае не весь смысл переводных эквивалентов  $t_1$  и  $t_2$ , отражаемый элементами смысла из множества  $S$ , совпадает, следовательно, два переводных эквивалента относятся к разным микротемам и не могут включаться в одно переводимое предложение.

### 4. Компараторная идентификация элементов смысла многозначных слов

Введенный компонентно-семантический предикат  $P(t, s)$  и полученный предикат эквивалентности  $E_1(1)$  позволяют провести разбиение ПЭМСП на классы эквивалентности, представляющие собой определенные микротемы предложения. При этом

для каждого класса можно ввести обозначение микротемы, объединяющей данный класс. Ясно, что переводные эквиваленты, входящие в полученные нами классы эквивалентностей, не тождественны по смыслу — они являются эквивалентными относительно выражаемой ими микротемы. Предикат  $E_1$  определяет разбиение  $\vartheta_1$  множества  $T$  на слои переводных эквивалентов переводимого предложения. Все переводные эквиваленты, принадлежащие одному слою разбиения, относятся к одной микротеме. Любые же ПЭМСП, взятые из разных слоев разбиения, относятся к различным подтемам. Ясно, что для правильного перевода предложения следует использовать переводные эквиваленты, относящиеся к одному слою разбиения.

Классу  $L_q$  всех ПЭМСП  $t \in T$ , относящихся к одной подтеме, содержащему переводной эквивалент  $q \in T$ , соответствует предикат  $L_q(t) = E_1(t, q)$ . Учитывая зависимость (1), получаем

$$L_q(t) = \forall s \in S(P(t, s) \sim P(q, s)). \quad (2)$$

Формула (2) выражает деление ПЭМСП на микротемы через предикат  $P$ , объективно определяемый компаратором.

### 5. Пример работы компаратора при переводе английского предложения

Рассмотрим работу компаратора на примере перевода английского предложения, включающего многозначные слова: *Some common Web client interfaces — also known as Web browsers — include NetScape, Internet Explorer and others check electronic documents* [4]. Рассматриваемое предложение включает три многозначных слова *web*, *interface* и *browser*. Множество ПЭМСП  $T = \{q_1, \dots, q_{11}\}$ :  $q_1$  = перепонка,  $q_2$  = паутина,  $q_3$  = сеть,  $q_4$  = соединительная ткань,  $q_5$  = соединительная конструкция,  $q_6$  = интерфейс,  $q_7$  = стык,  $q_8$  = граница между двумя материалами,  $q_9$  = животное,  $q_{10}$  = человек, перелистывающий книги,  $q_{11}$  = браузер.

Также априорно из словаря выделяется 6 сем, отображающих смысл данных переводных эквивалентов многозначных слов переводимого предложения,  $S = \{l_1, \dots, l_6\}$ :  $l_1$  = фауна,  $l_2$  = компьютер,  $l_3$  = Интернет,  $l_4$  = анатомия,  $l_5$  = техника,  $l_6$  = химия.

Компаратор последовательно перебирает все пары переводных эквивалентов и соответствующих им сем. Если сема соответствует данному переводному эквиваленту, предикат  $P(t_i, s_j)$   $1 \leq i \leq 11$ ,  $1 \leq j \leq 6$  обращается в 1; если же соответствие не установлено, предикат принимает значение 0. Перебрав все возможные пары  $(t_i, s_j)$ , получаем компонентно-семантическим предикат  $P(t, s)$ , применив к которому формулу (2) получим слои разбиения переводных эквивалентов многозначных слов предложения на микротемы.

Предикат  $P(t, s)$  задан двумерным графом, показанным на рис. 3.

Используя предикат узнавания [3]:

$$a_i(x_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j = a_i; \\ 0, & \text{если } x_j \neq a_i, \end{cases} \quad (3)$$

запишем предикат классификации  $P$  следующей формулой:

$$P(t, s) = t^1 s^1 \vee t^2 s^1 \vee t^3 t^2 \vee t^3 s^3 \vee t^4 s^4 \vee t^5 s^5 \vee t^6 s^2 \vee t^7 s^5 \vee t^8 s^5 \vee t^8 s^6 \vee t^9 s^1 \vee t^{10} s^4 \vee t^{11} s^2 \vee t^{11} s^3 \quad (4)$$

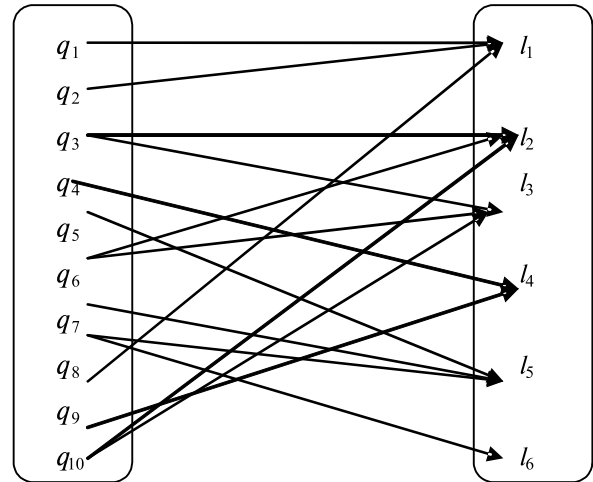


Рис. 3. Графическая интерпретация предиката  $P(t, s)$

Используя формулу (2), вычисляя соответствующие предикаты, получим слои разбиения  $\vartheta$  множества  $T$ :

$$L_{q_1}(t) = (P(t, s_1) \sim P(q_1, s_1)) (P(t, s_2) \sim P(q_1, s_2)) (P(t, s_3) \sim P(q_1, s_3)) (P(t, s_4) \sim P(q_1, s_4)) \bullet (P(t, s_5) \sim P(q_1, s_5)) (P(t, s_6) \sim P(q_1, s_6)) = t^1 \vee t^2 \vee t^9; \\ L_{q_2}(t) = t^3 \vee t^6 \vee t^{11}; \\ L_{q_3}(t) = t^3 \vee t^6 \vee t^{11}; \\ L_{q_4}(t) = t^4 \vee t^{10}; \\ L_{q_5}(t) = t^5 \vee t^7 \vee t^8; \\ L_{q_6}(t) = t^8.$$

Определим повторяющиеся слои разбиения  $\vartheta$ :

$$\mu = \{q_3, q_6, q_{11}\}. \quad (6)$$

Повторяющийся слой разбиения  $\mu$  представляет собой микротему, отображающую тематику переводимого предложения. Таким образом, три переводных эквивалента многозначных слов переводимого предложения соответствуют одной микротеме:  $q_3$  = *сеть* (переводной эквивалент многозначного слова *web*),  $q_6$  = *интерфейс* (переводной эквивалент многозначного слова *interface*),  $q_{11}$  = *браузер* (пере-

водной эквивалент многозначного слова browser). При переводе предложения выбираются именно эти переводные эквиваленты, так как в одно предложение относится к одной микротеме, и все переводные эквиваленты должны относиться именно к этой микротеме. После проведения семантического анализа, позволившего снять многозначность переводимых слов предложения, получим следующий автоматический перевод предложения: *Некоторые общие клиентские интерфейсы сети — также известные, как сетевые браузеры — включают NetScape, Internet Explorer и другие, проверяют электронные документы.*

### Выводы

Таким образом, использование метода компараторной идентификации позволяет автоматически разделять элементы смысла многозначных слов

переводимого предложения на тождественные (по отношению к определенной) микротемы. Применение данного метода на этапе семантического анализа в трансферных системах машинного перевода позволяет в ряде случаев снять семантическую омонимию многозначных слов предложения и тем самым уменьшить количество семантических ошибок переводимых текстов.

**Список литературы:** 1. Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей “Смысл-Текст”. — М., 1974. — 314 с. 2. Апресян Ю.Д. Избранные труды: Т. I: Лексическая семантика — М.: “Яз. рус. культуры”, 1995. С. 472. 3. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта: Учебник. — Харьков: ООО» Компания СМИТ», 2006.— 576 с. — На русск. языке. 4. Schneiderman R.A. Why librarians should rule the net // E-NODE.— 1996.—Vol.1, N 4.— 5, Septem.

*Поступила в редколлегия 01.10.2007*





УДК 519.62

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ СЕМАНТИКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЯМБДА-ИСЧИСЛЕНИЯ

Г.Ф. Дюбко<sup>1</sup>, Д.В. Преснякова<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, prof\_dubko@yandex.ru<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, 62002@ukr.net

В статье предлагается подход к формализации толкового словаря естественного языка. Толковый словарь назван  $\lambda$ -словарём. В  $\lambda$ -словаре словарные статьи имеют зону  $\lambda$ -выражения.  $\lambda$ -выражение используется для соотнесения употребляемого слова к смысловому значению. Текстовая зона толкового словаря в  $\lambda$ -словаре представляется семантической функцией. Рассмотрены примеры использования  $\lambda$ -словаря для анализа простых предложений.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК, ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ, ЛЯМБДА-СЛОВАРЬ, СЕМАНТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ, ЛЯМБДА-ИСЧИСЛЕНИЕ, ЛЯМБДА-ВЫРАЖЕНИЕ

### Введение

Исследованием языка издавна занимается традиционная лингвистика. Феноменологические модели языка, предложенные лингвистами, используют богатый фактический материал, который накопила лингвистическая наука. Однако большинство моделей традиционной лингвистики носит описательный характер. Задачи, которые ставит компьютерная лингвистика, потребовали формальных подходов к описанию языка как с точки зрения его структуры, так и с точки зрения семантики естественно-языковых феноменов. Основоположителем формального подхода к описанию языка считается Н.Хомский, который первым сформулировал задачи компьютерной лингвистики [1] и предложил теорию формальных грамматик, которую можно рассматривать как теорию структуры естественного языка (ЕЯ). Эта теория основывается на некотором конечном множестве наблюдений и устанавливает общие законы, сформулированные в терминах новых понятий. Она пытается объяснить эти наблюдения и показать, как они связаны между собой с целью предсказания бесконечного числа новых явлений при моделировании ЕЯ.

Одним из направлений развития теории Н.Хомского с рассмотрением смысловых аспектов языка является теория лингвистических моделей типа «Смысл-Текст» (ТСТ), предложенная И.А.Мельчуком и А.К.Жолковским [2, 3]. Центральным постулатом этой теории служит предположение, что ЕЯ есть система, устанавливающая соответствие между любым заданным смыслом и всеми выражающими его текстами. Модель некоторого языка должна представлять собой множество правил, ставящих в соответствие всякому смыслу все тексты языка, несущие этот смысл. Существенную роль в описании смысла играет семантический словарь, названный толково-комбинаторным словарём (ТКС) [4]. ТКС, как и всякий толковый словарь, определяет употребление слов (лексем) словарны-

ми статьями. Имеются три зоны словарной статьи: семантическая, синтаксической сочетаемости, лексической сочетаемости. Описание семантических связей лексем осуществляется посредством пропозициональной формы (ПФ) и семантического разложения. ПФ состоит из лексем и переменных (семантические актаны и участники обозначаемой ситуации) и эксплицитно разделяет лексические и категориальные (часть речи, число, падеж и т.д.) значения. Семантическое разложение предполагает последовательное разложение исходных лексических смыслов, которые должны привести к лексическим атомам-элементарным смыслам, далее неразложимым и задаваемым списком [5, 6].

Эти атомы названы семантическими примитивами, которые получили дальнейшее развитие в теории семантических множителей [7, 8] лексической семантики [9, 10]. Синтаксическая сочетаемость определяется моделью управления, где для каждого синтаксического актанта заглавного слова указаны все возможные способы его выражения. Здесь может быть использована фреймовая структура [11], описывающая все возможные комбинации значений синтаксических категорий актантов. Идея модели управления тесно связана с понятием семантического падежа Филмора [12]. Лексическая сочетаемость в ТКС основана на двух случаях сочетаемости: языковой норме сочетаемости, которой соответствует описательный аппарат модели управления, и исключении из языковой нормы сочетания, для которых введён аппарат лексических функций [13].

Интересным направлением в формализации семантики, на наш взгляд, являются функциональные грамматики (ФГ) [14]. Автор этого направления исходит из того, что язык предназначен для удовлетворения человеческих нужд, и каждый элемент языка объясняется ссылкой на его функцию в общей лингвистической системе. ФГ-это то, что конструирует все элементы языка (предложения, фразы, тексты) как органическое состояние функций. Каждая

часть ФГ интерпретируется как функциональная в соответствии с целым.

Существует ещё несколько моделей смысла в виде теории концептуальной зависимости, семантических сетей, концептуальных графов. Но эти модели следует рассматривать как базы знаний, к которым можно перейти, решив вопросы общелингвистической семантики, которую можно назвать поверхностным смыслом.

### 1. Постановка задачи

В рассматриваемых во введении моделях семантики естественного языка используются формальные семантические словари. В одних моделях они присутствуют явно, в других информация семантического словаря используется неявно. Составление формальных семантических словарей весьма затратная процедура. Например подсчитано, что реализация ТКС для русского языка потребует 200–300 лет.

Одним из путей сокращения затрат на реализацию формального семантического словаря является использование информации, содержащейся в толковых словарях естественного языка, которая апробирована вековой практикой. В толковых словарях каждому каноническому представлению слова естественного языка соответствует ряд словарных статей, каждую из которых можно интерпретировать как смысл (поверхностный) этого слова. Словарная статья представлена ЕЯ-конструкцией. Если трансформировать ЕЯ-конструкцию в её смысловой эквивалент, то последний можно трактовать как формальное значение слова и использовать его в формальных выводах. При этом назначение формального семантического словаря состоит в его использовании для получения поверхностного смысла анализируемых ЕЯ-конструкций.

Целью данной работы является создание модели семантического словаря на основе лямбда-исчисления и семантических функций. Базой для реализации семантического словаря является толковый словарь естественного языка.

### 2. Лямбда-исчисление

Лямбда-исчисление ( $\lambda$ -исчисление), предложенное А.Черчем, является теоретической основой описания вычислительных процессов, которая не содержит в явном виде понятия ячеек памяти для хранения значений переменных и последовательности вычислений как процесса изменения состояния памяти. А.Черч построил систему, где используются правила преобразований, с помощью которых можно получать из одних функций другие, эквивалентные им.

Основным понятием в  $\lambda$ -исчислении является понятие выражения (формулы). Его можно опреде-

лить рекурсивно. Прежде всего, фиксируется набор идентификаторов, которые именуется переменными. В формулах переменные обозначают аргументы функций, задаваемых  $\lambda$ -выражениями. Переменная является простейшим видом выражения. Два других вида выражений — это определение безымянной функции ( $\lambda$ -выражение) и применение функции.

$\lambda$ -выражение имеет вид  $\lambda x. e$ , где  $x$  — имя переменной, а  $e$  — выражение. Семантически такое выражение обозначает функцию с аргументом  $x$  и телом  $e$ . Применение функции записывается в виде  $e1 e2$ , где  $e1$  и  $e2$  — выражения:  $e1$  — функция,  $e2$  — её аргумент.

Примеры:

$\lambda x.x$  — простейшая функция, выдающая свой аргумент;

$\lambda f. \lambda x. fx$  — функция с двумя аргументами, применяющая свой первый аргумент ко второму. Скобки опущены, так как принято соглашение, по которому операция применения функции к аргументу имеет более высокий приоритет, чем операция образования  $\lambda$ -выражения. При этом функции применяются слева направо, то есть выражение  $fx$  у понимается как применение функции  $f$  к аргументу  $x$ , и применение полученного результата к  $y$ ;

$(\lambda x.xx)(\lambda x.xx)$  — применение функции, заданной  $\lambda$ -выражением  $(\lambda x.xx)$  к аргументу, представляющему собой такое  $\lambda$ -выражение. Внутри тела, задающего  $\lambda$ -выражение, аргумент  $x$  применяется к себе.

В классическом  $\lambda$ -исчислении кроме функций и их применений к другим функциям ничего нет. В прикладных вариантах использования  $\lambda$ -исчисления вводят расширение: помимо безымянных функций, заданных  $\lambda$ -выражениями, используют константы, смысл которых задан вне  $\lambda$ -исчисления. Это могут быть целые числа, символы, логические значения, константы, задающие обозначения примитивных функций.

Заметим, что в классическом  $\lambda$ -исчислении применение любой функции к любому аргументу всегда осмысленно, так как любой объект (как аргумент, так и результат) всегда представляют функцию одного аргумента. В расширенном  $\lambda$ -исчислении примитивные функции можно применять только к осмысленным (правильным) аргументам. Так, например, бессмысленным будет выражение  $+(true, 0)$ , так как невозможно найти сумму логического и числового аргументов.

В  $\lambda$ -исчислении определены эквивалентные преобразования выражений. С их помощью переходят от одних преобразований к другим, эквивалентным им. В выражениях различают свободные и связанные переменные. Если в выражение входит только переменная  $x$ , то множество свободных переменных этого выражения  $F(e) = \{x\}$ . Если выражение

состоит из стандартных констант расширенного  $\lambda$ -исчисления, то  $F(e) = \emptyset$ . Если выражение является применением функции к аргументу и имеет вид  $e_1 e_2$ , то множество свободных переменных  $F(e) = F(e_1) \cup F(e_2)$ .

Если выражение имеет вид  $\lambda x.e$ , то его множество свободных переменных  $F(e) = F(e)/\{x\}$ . Те переменные, которые не входят во множество свободных переменных, являются связанными. Выражения, содержащие свободные переменные, хотя и являются формально допустимыми, как правило, бессмысленны. Например  $\lambda f. fx$  имеет свободную переменную  $x$ , смысл которой в выражении не определён. Если взять эту функцию, то получается вполне осмысленное выражение  $\lambda x. \lambda f. fx$ , представляющее собой функцию, которое применяет свой второй аргумент к первому. Обычно рассматриваются выражения, содержащие свободные переменные, только в качестве составных частей других выражений, в которых рассматриваемые переменные уже являются связанными.

Рассматриваются четыре правила преобразования выражений в  $\lambda$ -исчислении. Первое из преобразований называется переименованием переменных или  $\alpha$ -редукцией. Формально  $\alpha$ -редукция состоит в замене в выражении  $\lambda x.e$  переменной  $x$  на любое другое имя с одновременной заменой всех свободных вхождений этой переменной в выражение  $e$ . Например, заменив в выражении  $\lambda x. \lambda f. fx$  переменную  $x$  на  $y$ , получим  $\lambda y. \lambda f. fy$ .

Преобразование, называемое  $\delta$ -редукцией, соответствует применению встроенной функции к константным аргументам. Правило  $\delta$ -редукции с введением скобок и разделителей имеет следующий вид. Пусть выражение  $e(e_1, \dots, e_n)$  трактуется как функция с константой  $e$ , представляющей имя функции и значениями аргументов  $e_1, \dots, e_n$ . Тогда такое выражение можно заменить на эквивалентное ему выражение, представленное значением, получающимся как результат применения функции к заданным значениям аргумента. Например, если константа  $+$  представляет функцию арифметического сложения, то в результате  $\delta$ -редукции выражение  $+(3, 4)$  преобразуется в выражение 7.

Следующее преобразование называют  $\beta$ -редукцией. Оно соответствует применению функции, представленной  $\lambda$ -выражением, к аргументу. Если ввести символ  $@$ , определяющий функцию от значения аргумента, то выражение  $\lambda x.e@a$  в результате  $\beta$ -редукции будет преобразовано к  $e\{x/a\}$ , то есть выражение  $e$ , в котором все свободные вхождения переменной  $x$  заменены на выражение  $a$ . Например выражение  $\lambda x.+(x, x)@5$  в результате  $\beta$ -редукции преобразуется в  $+(5, 5)$ , которое с помощью  $\delta$ -редукции можно преобразовать в 10.

Четвёртое преобразование, называемое  $\eta$  — преобразованием, отражает тот факт, что две функции, которые при применении к одному и тому же аргументу дают один и тот же результат, эквивалентны. Формально  $\eta$ -преобразование записано как « $\lambda x.E@x$  эквивалентно  $E$ ».

### 3. Лямбда-словарь и формальная семантика

Представление значения предложения с помощью формулы  $\lambda$ -исчисления — одно из самых распространённых в автоматических системах, работающих с английским языком. Этот подход можно применить и к другим естественным языкам, например, к русскому и украинскому. Применение  $\lambda$ -исчисления позволяет получать формальную семантику предложения в виде формулы исчисления предикатов первого порядка, то есть, в нашем толковании, определяет глубинную семантику предложения. При этом предполагается, что имеется словарь, назовём его  $\lambda$ -словарём, где каждому каноническому представлению слова соответствует  $\lambda$ -формула, в которой встроенными функциями являются предикаты, описывающие семантику слова. Предложение, семантика которого определяется, интерпретируется как конкатенация слов, составляющих его. Последовательно каждое текущее слово предложения заменяется на его эквивалент из  $\lambda$ -словаря при просмотре предложения слева направо. Используя преобразования  $\lambda$ -исчисления, производят редукции получаемых конструкций до тех пор, пока в них не будет  $\lambda$ -операторов. Полученная формула трактуется как смысл предложения. Рассмотрим работу вышеописанной схемы на примере анализа простого предложения русского языка.

Пусть анализируется простое предложение

$$\text{«Каждый человек дышит»} \quad (1)$$

Информация, содержащаяся в  $\lambda$ -словаре имеет следующий вид. «Каждый»: смысл слова выражен формулой

$$\lambda P.\lambda Q.x(P@x \supset Q@x),$$

где  $P, Q$  — предикаты;  $x$  — переменная.

«Человек»: смысл слова представлен формулой

$$\lambda y. \text{ЧЕЛОВЕК}(y),$$

где ЧЕЛОВЕК — предикат;  $y$  — переменная.

«Дышать»: смысл представлен формулой

$$\lambda z. \text{ДЫШАТЬ}(z),$$

где ДЫШАТЬ — предикат;  $z$  — переменная.

Подставим теперь в (1) эквиваленты смыслов из  $\lambda$ -словаря, считая, что слова в (1) представляют собой конкатенацию. Подстановку сделаем последовательно, начиная со слова «каждый» и производя все возможные редукции.

$$\begin{aligned} \lambda P. \lambda Q. \forall x (P @ x \supset Q @ x) @ \lambda y. \text{ЧЕЛОВЕК}(y) = \\ \lambda Q. \forall x (\lambda y. \text{ЧЕЛОВЕК}(y) @ x \supset Q @ x) = \\ \lambda Q. \forall x (\text{ЧЕЛОВЕК}(x) \supset Q @ x). \end{aligned}$$

Конкатенируем последнюю формулу со значением слова «дышит».

$$\begin{aligned} \lambda Q. \forall x (\text{ЧЕЛОВЕК}(x) \supset Q @ x) @ \text{ДЫШАТЬ}(z) = \\ \forall x (\text{ЧЕЛОВЕК}(x) \supset \text{ДЫШАТЬ}(z) @ x) = \\ \forall x (\text{ЧЕЛОВЕК}(x) \supset \text{ДЫШАТЬ}(x)). \end{aligned}$$

Последняя формула довольно точно отражает смысл предложения (1), вернее, смысл кванторного слова «каждый», так как нет никакой информации о значении слов «человек» и «дышит», которые многозначны в своём семантическом толковании.

В рассматриваемом подходе представления смысла предложения постулируется, что смысл простого предложения выражается импликацией  $A \supset B$ . При этом антецедентом является группа подлежащего, а консеквентом — группа сказуемого. С точки зрения представления знаний, где знания подразделяются на факты, правила и цели, такой подход предполагает, что все простые предложения являются правилами. А это не соответствует языковым реалиям.

Смысл предложения, как основной конструкции языка, формируется из элементарных смыслов конструкций, составляющих предложение, и постулирование элементарных смыслов каждого слова предикатными формулами не решает проблем логического вывода на полученных предикатных формулах.

При формировании предикатных формул из предложения ЕЯ необходимо определить, что интерпретировать как предикатные константы, индивидуальные переменные, параметры, константы. Для такого формирования необходимо также эксплицитно выявить необходимую информацию. Ясно, что рассмотренный выше подход не предлагает средств для адекватного преобразования предложения ЕЯ в предикатную формулу. Однако идея использования  $\lambda$ -исчисления для этой цели весьма плодотворна. Разделение семантики на поверхностную, в форме семантических функций [15], и глубинную в виде формул исчисления предикатов способствует более точному выражению смысла предикатными формулами. При этом формирование предикатных формул производится с уровня семантических функций, эксплицитно содержащих необходимую для этого информацию. При таком подходе вопрос состоит в методах формирования семантических функций. Схема такого преобразования представлена в [15]. Центральное место здесь занимает семантический словарь, который является формализацией толково-

го словаря ЕЯ. Семантический словарь предлагается реализовать на основе  $\lambda$ -исчисления, встроенными функциями которого являются семантические функции. По аналогии с описанным выше подходом назовём такой словарь  $\lambda$ -словарём.

В  $\lambda$ -словаре должна содержаться информация, достаточная для того, чтобы определить статус слова (предикатная константа, индивидуальная переменная, индивидуальная константа). Основное же направление  $\lambda$ -словаря состоит в предоставлении информации для конструирования семантических функций, отражающих поверхностную семантику простого предложения ЕЯ.

При конструировании  $\lambda$ -словаря будем исходить из следующих положений.

Лямбда-словарь строится на базе толкового словаря естественного словаря (ТСЕЯ), в котором поверхностный смысл каждого слова представлен словарными статьями.

Словарная статья  $\lambda$ -словаря имеет несколько зон, в которых хранится соответствующая информация. Одна из зон содержит  $\lambda$ -выражение, другая — семантическую функцию, представляющую смысловую эквивалент текста словарной статьи в ТСЕЯ.

При формировании семантических функций и  $\lambda$ -выражений в  $\lambda$ -словаре используются константы, которые мы назовём семантическими примитивами. В качестве семантического примитива используются семантические функции слова  $\alpha$  в  $\lambda$ -словаре  $V_i(\alpha)$ . Причём слово  $\alpha$  должно выражать более общее понятие в иерархии слов, обозначающих сходные понятия. Например для слова «газ» в [16] даётся три словарных статьи.  $V_1(\text{газ})$  представляет наиболее часто употребляемое толкование этого слова.  $V_1(\text{газ})$  может быть использовано в качестве семантического примитива для слов «кислород, водород, воздух» и словосочетаний типа «газообразная смесь». Вводятся также семантические примитивы для семантических функций  $F_i$  и, например, для функции  $F_i$  глагол, которая представляет поверхностную семантику предложения.

Семантический примитив можно обозначить как  $F^j$  глагол, где  $j$  — номер семантического примитива. Семантические примитивы для глаголов исследованы в теории концептуальных зависимостей, где выделены около 12 примитивов, отражающих семантику глагола в реальном мире. Рассмотрим два предложения:

«Человек дышит воздухом», (2)

«Человек дышит лёгкими». (3)

Для (2) и (3) семантика выражена семантическими функциями соответственно:

$F^9$  глагол (...) и  $F^{12}$  глагол (...),

где  $F^9$ \_глагол — принятие внутрь объектов живым существом;  $F^{12}$ \_глагол — выполнение действия посредством некоторого объекта.

Представление поверхностного смысла предложения в виде семантической функции выразим следующей формулой

$$F^j\_глагол(x_1 \dots x_n). \quad (4)$$

Предполагается, что за каждым аргументом  $x_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) закреплена некоторая семантическая роль. В качестве ролевых знаний используются следующие понятия. «Субъект» — подлежащие, то есть то о чём идёт речь в предложении; «предикат» — сказуемое, то, что говорится о субъекте; «объекты» — дополнения, имена других объектов, связанных с субъектом посредством предиката; «атрибуты» — определения. Атрибутивные (определяющие) и отчасти объектные (дополнительные) роли могут обозначать время, место, условия, цель, причину, образ и способ действия.

Рассмотрим теперь способ конструирования  $\lambda$ -выражения для определённой словарной статьи  $\lambda$ -словаря.

Пусть  $\omega = \langle \alpha_1, \dots, \alpha_m \rangle$  синтаксически разобранное предложение из указанных слов  $\alpha_i$ , для которых мы хотим определить семантическую функцию с помощью  $\lambda$ -словаря. Другими словами, мы хотим трансформировать  $\omega$  в (4) с помощью  $\lambda$ -выражения словарной статьи.

Обозначим через  $\varphi(\omega, x_i, V_s(\text{const } i))$  операцию вычисления значения  $V_{s1}(\alpha_k)$  ( $\alpha_k \in \omega$ ), то есть:

$$\varphi(\omega, x_i, V_s(\text{const } i)) = V_{s1}(\alpha_k),$$

где  $V_s(\text{const } i)$  — семантический примитив.

Вычисляемое значение  $V_{s1}(\alpha_k)$  должно согласовываться с  $V_s(\text{const } i)$  и ролью  $x_i$  в (4). В процессе трансформации значение  $V_{s1}(\alpha_k)$  должно быть представлено на место  $x_i$  в (4). Таким образом, значения, вычисляемые функцией  $\varphi$ , могут с помощью  $\lambda$ -операторов заменять значения переменных.

Кроме подстановки значений слов на место переменных необходимо определить глагольный примитив семантической функции ( $F^j$ \_глагол). Для этого введём операцию  $\psi(\omega, x_i, V_s(\text{const } i), F^j\_глагол)$ , которая вычисляет, является ли  $F^j$ \_глагол семантическим примитивом при указанных аргументах. Подстановку  $F^j$ \_глагол на место имени семантической функции можно также осуществить с помощью  $\lambda$ -оператора.

Используя функцию  $\varphi$  и  $\psi$ ,  $\lambda$ -выражение словарной статьи представляется в общем виде как

$$\lambda x_1. \lambda x_2 \dots \lambda x_n \lambda f. f(x_1, x_2 \dots x_n). @\varphi(\omega, x_1, \text{«значение»}) @\varphi(\omega, x_2, \text{«значение»}). @ \dots @ \varphi(\omega, x_1, \text{«значение»}) @ \psi(\omega, x_k, \text{«значение»}, F^j\_глагол).$$

Покажем на конкретном примере построение  $\lambda$ -выражения для словарной статьи  $\lambda$ -словаря. Рассмотрим глагол «дышать» как семантическую функцию трёх аргументов. В толковом словаре [16] для глагола «дышать» указывается две словарные статьи:

- а) втягивать и выпускать воздух лёгкими;
- б) быть проникнутым чем-либо, веять чем-нибудь, испускать что-либо.

По этим статьям формируются семантические функции, которые попадают в соответствующую зону словарной статьи  $\lambda$ -словаря. Зона  $\lambda$ -выражения словарной статьи должна определять словарную статью, являющуюся поверхностным смыслом этого глагола. Количество словарных статей  $\lambda$ -словаря чаще всего будет больше, чем в толковом словаре.

Семантическая функция для предложения с глаголом «дышать» с тремя аргументами имеет вид  $F$ \_глагол( $x_1, x_2, x_3, \dots$ ). Для  $V_1$ (дышать) можно предложить три словарные статьи и соответственно три  $\lambda$ -выражения с учётом ролей  $x_1$  — предикат,  $x_2$  — субъект,  $x_3$  — дополнение:

$$\lambda x_1. \lambda x_2 \lambda x_3 \lambda f. f(x_1, x_2, x_3). @\varphi(\omega, x_1, V_1 \text{«дышать»}) @\varphi(\omega, x_2, \text{«живое существо»}). @ \varphi(\omega, x_3, \text{«газ»}) @ \psi(\omega, x_3, \text{«газ»}, F^9\_глагол),$$

это  $\lambda$ -выражение позволяет анализировать предложения типа (2);

$$\lambda x_1. \lambda x_2 \lambda x_3 \lambda f. f(x_1, x_2, x_3). @\varphi(\omega, x_1, V_1 \text{«дышать»}) @\varphi(\omega, x_2, \text{«живое существо»}). @ \varphi(\omega, x_3, \text{«орган»}) @ \psi(\omega, x_3, \text{«орган»}, F^{12}\_глагол),$$

позволяет анализировать предложения типа (3);

$$\lambda x_1. \lambda x_2 \lambda x_3 \lambda f. f(x_1, x_2, x_3). @\varphi(\omega, x_1, V_1 \text{«дышать»}) @\varphi(\omega, x_2, \text{«живое существо»}). @ \varphi(\omega, x_3, \text{«аппарат»}) @ \psi(\omega, x_3, \text{«аппарат»}, F^{12}\_глагол),$$

здесь можно получить семантическую функцию для предложений типа «Солдат дышит через противогаз».

Используем эти  $\lambda$ -выражения для получения семантической функции по предложению (3). Комбинируя  $\lambda$ -выражение с  $\omega$  и проведя все необходимые редукции, получим выражение, свободное от  $\lambda$ -операторов. При этом все встроенные функции должны иметь значение. Поэтому  $\lambda$ -выражение для предложения (3) отвергнуто, так как  $\varphi$  («лёгкое»,  $x_3$ , «газ») не имеет значения. Второе (подходящее)  $\lambda$ -выражение допускает  $\omega$ , давая в результате последовательно проведённых редукций формулу:

$$F^{12}\_глагол(V_1(\text{дышать}), V_1(\text{человек}), V_1(\text{лёгкое})).$$

## Выводы

В данной работе предлагается формальная модель толкового словаря естественного языка на основе  $\lambda$ -исчисления и встроенных в него семантических функций.

Научная новизна работы состоит в использовании для формализации словаря семантических функций и методе анализа естественно-языковых конструкций с применением  $\lambda$ -выражений.

Практическая направленность работы заключается в возможности прямого применения рассматриваемых методов для разработки компьютерных программ-анализаторов естественного языка.

Дальнейшее направление исследований — представление встроенных в  $\lambda$ -выражение операций в явном виде.

**Список литературы:** 1. *N.Chomsky*. Three Models for Description of Language//IRE Trans. Informat. Theory, 1956. V. IT-2. P. 113-124: Пер.: Н.Хомский. Три модели описания языка // Кибернетический сборник. — Вып. 2. — М.: ИЛ, 1961. — С. 237-266. 2. *А.Н.Жолковский*. Модель “Смысл-Текст” // Энциклопедия кибернетики. — К.: Украинская Советская Энциклопедия, 1974. —Том. 2. — С. 46-48. 3. *И.А.Мельчук*. Опыт теории лингвистических моделей “Смысл-Текст”. — М.: Наука, 1974. — С. 213-231. 4. *I.A.Melchuk*. The Russian Language in the Meaning — Text Perspective. Wiener Slawistischer Almanach, Sonderband, 39, Moskau-Wien, 1995. — С. 321. 5. *А.Н.Баранов, Д.О.Добровольский, М.Н.Михайлов, П.Б.Паршин, О.И.Романова*. Англо-русский словарь по лингвистике и информатике. Т. 1. —М.: Помовский и

партнеры, 1996. 6. *George Boole*, Investigation of the Laws of Thought, London, Eng., Walton, 1854. — С. 408. 7. *Jerrold J.Katz*. The philosophy of language, New York -London, 1966. Перевод главы: Дж. Катц. Семантическая теория.// “Новое в зарубежной лингвистике, вып.10, Прогресс, 1981 с. 34. 8. *J.Katz, J.Fodor*. The Structure of Semantic Theory. -“Language”, vol. 39, 1963. 9. *Ю.Д.Апресян*. Лексическая семантика. Синонимические средства языка. — М.: Наука, 1974. — 367 с. 10. *Ю.Д.Апресян*. Лексическая семантика. Синонимические средства языка. Автореф. диссертации на соиск. учен. степ. д-ра филол. наук. (10.02.19). — Минск, Белорусский гос. ун-т, 1983. — 37 с. 11. *М.Минский*. Фреймы и представление знаний. — М.: Энергия, 1979. — 150 с. 12. *Ch.T.Fillmore*. The case for case // Universal in linguistic theory. New York, 1968. (Перевод: “Новое в зарубежной лингвистике, вып.10, М.: Прогресс, 1981. — С. 369-495. 13. *И.А.Мельчук, А.К. Жолковский*. Толково-комбинаторный словарь русского языка. Опыт семантико-синтаксического описания русской лексики. Wien: Wiener Slawistischer Almanach., 1984. — 992 с. 14. *M.A.K.Halliday*. An Introduction to functional Grammar // Edward Arnold (Publishers), 1985. 15. *Г.Ф. Дюбко, Д.В. Преснякова*. Модель поверхностного смысла естественного языка на базе семантических функций //Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал 2007. № 1(66). — С. 103-106. 16. *Ожегов С.И.* Словарь русского языка: Ок.57 тыс. слов / Под ред.чл.-корр. АН СССР Н.Ю. Шведовой. — 17-е изд., стереотип. — М.: Рус.яз. 1985. — 797 с.

Поступила в редколлегию 04.10.2007

УДК 681.5.015



## РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.П. Авраменко<sup>1</sup>, Н.А. Валенда<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, valenda@ukr.net

Исследованы причины некорректности задач обработки данных в системах контроля знаний дистанционного обучения. Предложены процедуры регуляризации (исправления) некорректно поставленных задач обработки данных на основании принципа внешнего дополнения. Внедрение регуляризованных процедур обработки данных позволило повысить эффективность поиска данных благодаря отбору информации, более релевантной запросу.

### КОРРЕКТНОСТЬ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПРОЦЕДУРЫ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

#### Введение

В основу системы контроля знаний дистанционного обучения, как правило, закладывается принцип текстового диалога, когда вопрос задается обучающей стороной, а ответ формируется обучаемым по определенным правилам. В системах контроля знаний важное место занимает проблема однозначного смыслового толкования и восприятия задаваемого вопроса и получаемого ответа. Для решения этой проблемы в формализованных системах используются процедуры регуляризации [1, 2].

Процедура регуляризации представляет собой вычислительный процесс, который сначала исправляет исходную некорректно поставленную задачу на корректно поставленную за счет привлечения дополнительной информации, а затем отыскивает приближенное решение. Термин «регуляризация» восходит от латинского слова *regula*, которое означает *правило* или *сделать правильным*. Процедуры обработки данных не всегда удовлетворяют желаемым *правилам*, а поэтому по природе своей принадлежат к некорректно поставленным задачам.

В алгебраических системах при обработке данных важное место занимают регулярные выражения и языковые среды. Под выражением принято подразумевать совокупность действий, которые выполняются в заданной последовательности, для того чтобы получить вполне определенное значение некоторого алгебраического объекта. Среди алгебраических выражений важное место занимают регулярные выражения, составленные по определенным правилам на специальном алгебраическом языке.

Каждому алгебраическому объекту ставится в соответствие набор правил «хорошего поведения», при соблюдении которых «регуляризованные» вычислительные процедуры ведут себя «наилучшим образом». Регулярным объектом может выступать регулярный оператор, в частном случае, хорошо обусловленная (невыврожденная) матрица, а нерегулярным объектом может выступать нерегулярная (выврожденная) матрица. Для вычисления определителя

нерегулярной (плохо обусловленной) матрицы применяются процедуры «регуляризации».

Целью данной статьи является анализ причин возникновения некорректности в задачах обработки данных и разработка процедур регуляризации (исправления) некорректно поставленных задач с целью повышения эффективности функционирования систем искусственного интеллекта на примере системы контроля знаний дистанционного обучения.

#### 1. Проблематика некорректности задач обработки данных

Качество принимаемых решений широкого класса математических задач тесно связано с корректностью их исходной постановки. Большинство оптимизационных задач обработки данных принадлежит к классу обратных некорректно поставленных задач. Первые этапы исследования некорректно поставленных задач направлены на уточнение вопроса о разрешимости и устойчивости задачи [1, с. 16; 2, с. 26].

Задача математического программирования

$$Q^* = Q(x^*) = \min_{x \in D} Q(x), \quad D = \{x : x \in E^n, G(x) \geq 0\} \quad (1)$$

является корректно поставленной при одновременном выполнении следующих условий:

– решение  $x^*$  существует, принадлежит допустимому множеству  $D$  и обеспечивает минимум функционалу

$$Q^* = Q(x^*) = \min_{x \in d} Q(x); \quad (2)$$

– решение единственно, то есть если  $x_1^* \in D$  и  $x_2^* \in D$ , то из соотношения

$$Q^* = Q(x_1^*) = Q(x_2^*) = \min_{x \in d} Q(x) \quad (3)$$

следует, что  $x_1^* \equiv x_2^* = x^*$ ;

– решение устойчиво по отношению к отклонениям исходных данных, то есть достаточно малым погрешностям элементов матрицы условий, величин выделенных ресурсов и коэффициентов

целевой функции соответствуют погрешности того же порядка в определении решения.

## 2. Регуляризация процедур обработки данных

Некорректность задач обработки данных можно трактовать в узком и широком смысле относительно класса аппроксимируемых моделей (линейного и нелинейного программирования) и количества аппроксимируемых критериев (однокритериальных и многокритериальных). Примером однокритериальной модели скалярной оптимизации обработки данных может служить модель математического программирования (1) – (3).

Большинство задач обработки данных в лучшем случае являются слабо корректными в силу их слабой структурированности. В них отсутствует достоверная информация о непротиворечивости ограничений, характере возмущающих воздействий и погрешностях вычислений. В качестве регуляризованного решения задачи можно принять нормальное решение  $x_n$ , наименее уклоняющееся от некоторого заданного вектора  $x_0$ .

Чем ближе искомое решение  $x_n$  к некоторому желаемому вектору  $x_0$ , тем эффективнее полученное решение. Мету уклонения нового решения от старого (критерий близости) можно задать квадратом нормы:

$$\Omega[x_n - x_0] = \|x_n - x_0\|_n^2. \quad (4)$$

Предположим, что задан некоторый вектор  $x_0 \in X$ . Искомый вектор  $x_n$  представляет нормальное решение задачи линейного программирования (по отношению к  $x_0$ ), если справедливо соотношение

$$\|x_n - x_0\|^2 = \min_{x^* \in X} \|x^* - x_0\|^2, \quad (5)$$

где  $x^*$  – любое решение этой задачи. Из совокупности квазиоптимальных решений с помощью интеллектуальной технологии (способа задания критерия близости) выделяется нормальное решение, наилучшее в смысле выбранной функции уклонения.

Многокритериальные технологии эффективной обработки данных принято относить к классу многократно некорректных задач. Их некорректность возникает, во-первых, из-за некорректности задач локальной оптимизации, во-вторых — из-за процедур принятия многокритериальных решений, в основу которых положен принцип неединственности. Множественность принимаемых решений является скорее достоинством, а не недостатком, поскольку «жесткие» схемы получения единственного решения неадекватны сущности задач многокритериальной оптимизации, а имеющаяся интеллектуальная «свобода» выбора предпочтительного решения из множества эффективных позволяет учесть неопределенность целей и критериев.

## 3. Применение регулярных выражений для обработки данных

В роли математического описания последовательности выполняемых операций в системе контроля знаний предложено использовать регулярные выражения формальных языков и грамматик. Регулярные выражения служат удобным описанием программных компонентов типа программ текстового поиска и программ текстового перевода. Регулярные выражения строятся на основе алгебраических законов, которые определяют структуру данных с помощью текстовых цепочек.

Регулярные выражения позволяют создать регулярные языки с заданными свойствами, которые определяют допустимые цепочки декларативным способом. Поэтому регулярные выражения используются в качестве входного языка во многих системах обработки текстовых цепочек. Различные поисковые системы преобразуют регулярные выражения в конечные автоматы, а такие автоматы используются для поиска текстовых цепочек в файле.

Регулярные выражения определяются в специальной алгебраической языковой среде регулярных событий, взаимосвязанных набором операций. Множество всех событий представляет собой некоторую универсальную алгебру, то есть над событиями определяются алгебраические операции. В качестве регулярных событий выступает формальный язык (произвольное множество слов или текстовых цепочек), выражения которого задают события над некоторым алфавитом. В качестве операций обычно выступают три оператора регулярных выражений: объединение, конкатенация и итерация.

Эффективность обработки текстовых данных определяется набором основных требований соответствующих интеллектуальных систем к инструментальным средствам перевода, компиляции или иной обработки данных. Проблема оценки качества перевода волнует теоретиков и практиков в связи с возросшими запросами в этом направлении, развитием машинного перевода и необходимостью создания общей теории перевода.

Одним из основных требований к тексту перевода является необходимость единства формы и содержания текста оригинала средствами языка перевода. Адекватность переводов обычно определяется категорией семантической полноты и точности, которая дополняется стилистической эффективностью, включающей в себя принцип соответствия текста перевода стилистическим нормам языка перевода. По этим параметрам оценивается качество перевода. На сегодняшний день проблема теоретических оценок качества перевода еще не решена. Практические оценки качества перевода определяются по эмпирико-интуитивным соотношениям, базирующимся на личном профессиональном опыте [3, с. 124–142].



Регуляризация является важным аспектом при обработке языков. Она может распространяться на несколько уровней. Наиболее распространенным является использование регулярных выражений в качестве средства описания языка. Существует трехсторонняя эквивалентность между регулярными выражениями, конечными автоматами и регулярными грамматиками при задании языка.

Это свойство широко используется в компиляторах языков программирования. Для описания конструкций языка используются регулярные выражения, на основании которых автоматический генератор может построить распознающие конечные автоматы. В результате можно получить лексический анализатор языка на основе его описания средствами регулярных выражений.

Разработанные генераторы лексического анализа, такие как `lex` или `flex`, позволяют автоматизировать программы обработки данных [4, с. 236–239]. Кроме программирования эти средства могут применяться для обработки естественных языков, например, русского. Такой лексический анализатор преобразовывает последовательность символов исходного файла во множество элементов, типы которых определяются видом регулярных выражений.

Ниже приведен пример программы на `flex` для разбиения текста русского языка на слова, аббревиатуры, числа, классы знаков пунктуации:

```
digit      [0-9]
intconst   [+\\-]?{digit}+
realconst  [+\\-]?{digit}+\\. {digit}+(e[+\\-]?{digit}+)?
letter     [a-я]
```

```
capital    [А-Я]
word       ({letter}{capital}){letter}*{letter}+-{letter}+
abbreviation {capital}*
punctuation {,;:|-|(){}|[]|}
stops      {.,!|?}
%%
{intconst} Процедура формирования лексемы – целое число;
{realconst} Процедура формирования лексемы – дробное число;
{word}     Процедура поиска слова в словаре и формирования лексемы слово;
{abbreviation} Процедура формирования лексемы аббревиатура;
{punctuation} Процедура формирование лексемы – знак препинания;
{stops}    Процедура формирование лексемы – признак конца предложения;
%%
```

Таким образом, регулярное описание языка позволяет строить для него автоматические распознаватели. Дополнив конечные автоматы процедурами формирования лексем, получаем конечные распознаватели (КР) языковых конструкций. По результатам автоматизированной работы `flex` построен анализатор, имеющий структуру представленную на (рис. 1).

Другим уровнем применения регуляризации к языкам является преобразование конструкций естественных языков к регулярному виду. Естественные языки из-за их многозначности представляют сложный объект для описания – каждому слову мо-

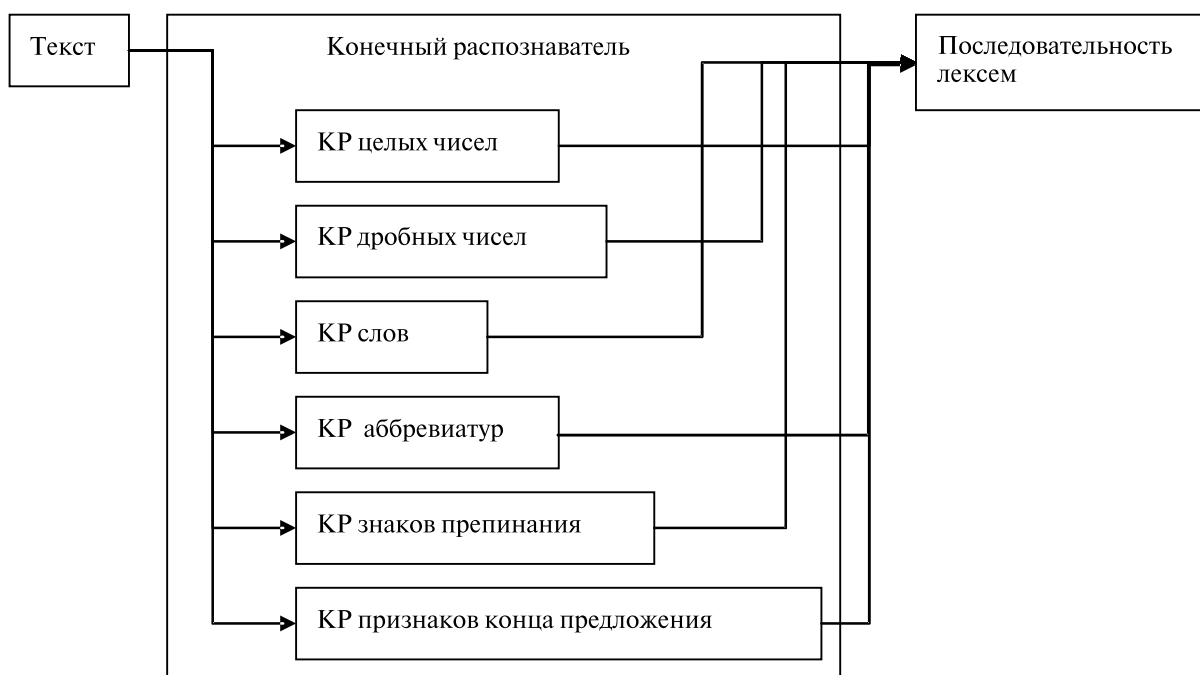


Рис. 1. Структура лексического анализатора на базе конечных распознавателей

жет соответствовать несколько значений и множеств морфологических признаков, предложению может соответствовать несколько структур разбора.

Назовем регулярным объектом языковую конструкцию, где каждому слову сопоставлено единственное значение в данном контексте и единственная морфологическая интерпретация; элементам предложения однозначно приписаны их роли, что дает единственную структуру разбора. Построение такого регулярного представления происходит в процессе поэтапного анализа языковых конструкций.

В качестве инструментов обработки данных могут использоваться различные формальные представления, удовлетворяющие ограничениям, налагаемым на данное представление. Ниже приведен пример регулярного представления языковой конструкции «Программный продукт строит график функции» на основе семантических функций:

$$f_1(V_3^2(y), V_1^1(x), f_3^4(V_1^4(z), V_1^4(u))),$$

где  $f_i$  — функции, определяющие отношения в предложении;  $V_j(x)$  — функция, определяющая  $j$  значение аргумента  $x$ .

Важным вопросом является эквивалентность формального представления исходной языковой конструкции. Пусть исходная языковая конструкция  $A$  преобразуется процедурой регуляризации  $R$  в формальное представление  $B$ :

$$A \xrightarrow{R} B.$$

Пусть существует формальная процедура  $R'$ , позволяющая получать из формального представления языковую конструкцию

$$B \xrightarrow{R'} A'.$$

Важным при этом является вопрос об эквивалентности языковых конструкций  $A$  и  $A'$ . Ответ на этот вопрос зависит от симметричности преобразований  $R$  и  $R'$ . Симметричность преобразований могут обеспечить эквивалентные структуры анализа и синтеза на уровне синтаксического и семантического анализа. Главная проблема состоит в адекватности отражения семантико-синтаксических связей предложения на формальном уровне, их использование на этапах синтеза и анализа обработки данных.

### Выводы

Усовершенствованы инструментальные средства обработки данных в системах искусственного интеллекта за счет применения семантических функций для анализа языковых конструкций.

Разработаны процедуры регуляризации семантического анализа данных на основе применения логического вывода на семантических функциях, что позволило выбирать единственное значение для многозначных слов и получать единственное формальное представление языковых конструкций.

**Список литературы:** 1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1979. — 288 с. 2. Авраменко В.П. Управление производством в условиях неопределенности. — Киев: УМК ВО, 1992. — 48 с. 3. Волошин В.Г. Комп'ютерна лінгвістика. — Суми: Університетська книга, 2004. — 382 с. 4. Валенда Н.А. Применение методов анализа естественного языка для поисковых систем // Вестник Херсонского государственного политехнического университета. — 2002. — № 1 (14). — С. 236 — 239.

Поступила в редколлегию 08.10.2007



УДК 519.859

## СТРАТЕГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ МНОГОСВЯЗНОЙ МНОГОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Злотник<sup>1</sup>, А.В. Кривуля<sup>2</sup>, А.В. Панкратов<sup>3</sup>, Т.Е. Романова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, zlotnik@ipmach.kharkov.ua

<sup>2</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, anet\_kav@mail.ru

<sup>3</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, pankratov@ipmach.kharkov.ua

<sup>4</sup> ИПМаш НАНУ, г. Харьков, Украина, sherom@kharkov.ua

Рассматривается задача покрытия компактной многосвязной многоугольной области конечным семейством прямоугольников, строится математическая модель, основанная на применении  $\Phi$ -функции, предлагается метод решения.

**ЗАДАЧА ПОКРЫТИЯ, МНОГОУГОЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ, ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ,  $\Phi$ -ФУНКЦИЯ**

### Введение

При создании систем поддержки принятия решений в классе задач геометрического проектирования [1] возникает необходимость в построении адекватных математических моделей и разработке эффективных методов решения задач покрытия.

Задачи покрытия [2] возникают в различных сферах человеческой деятельности, областях науки и техники и состоят в поиске покрытия заданной области множеством геометрических объектов, в том числе: в телекоммуникациях, в системах орошения, пожарной безопасности, в военных сценариях, системах воздушного и космического наблюдения, медицине и многих других приложениях.

Как известно, конструктивным средством математического и компьютерного моделирования задач покрытия является метод  $\Phi$ -функций [4, 5]. В работе [3] формализуется критерий покрытия с использованием этого метода. Математическая модель задачи покрытия многоугольной области набором различных прямоугольников на основании понятия  $\Gamma$ -функции впервые описывается в статье [6]. Эта модель получила дальнейшее развитие в работе [7], для случая, когда метрические характеристики объектов могут совпадать.

**Целью** данной статьи является разработка стратегии решения задачи покрытия компактной многосвязной многоугольной области конечным семейством прямоугольников.

Рассмотрим задачу покрытия в следующей постановке.

Пусть задана ограниченная многосвязная многоугольная область  $\Omega \subset R^2$  и семейство  $\Lambda = \{P_i, i = 1, 2, \dots, n\}$  прямоугольников

$$P_i = \{(x, y) \in R^2, -a_i \leq x \leq a_i, -b_i \leq y \leq b_i\}, \\ i = 1, 2, \dots, n$$

где  $R^2$  – это двумерное арифметическое евклидово пространство.

Расположение  $\Omega$  и  $P_i$  в пространстве  $R^2$  однозначно определяется векторами трансляции  $u_0 = (x_0, y_0)$  и  $u_i = (x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  соответственно.

Полагаем, что область  $\Omega$  неподвижна и  $u_0 = (0, 0)$ . В дальнейшем прямоугольник  $P_i$ , транслированный на вектор  $u_i$ , обозначим  $P_i(u_i)$ , а семейство транслированных прямоугольников  $P_i(u_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , –  $\Lambda(u)$ , где  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n) \in R^{2n}$ .

**Задача.** Определить вектор  $u^0 \in R^{2n}$ , при котором выполняется условие

$$\Omega \cap \text{int } H(u^0) = \emptyset, \tag{1}$$

где  $H(u^0) = \text{cl}(R^2 \setminus P(u^0))$ ;  $P(u^0) = \bigcup_{i=1}^n P_i(u_i^0)$ ;  $\text{cl}(\cdot)$ ,  $\text{int}(\cdot)$  – замыкание  $(\cdot)$ , внутренность множества  $(\cdot)$  [8] соответственно. Иными словами семейство  $\Lambda(u^0)$  покрывает область  $\Omega$  тогда и только тогда, когда выполняется условие (1) (рис. 1).

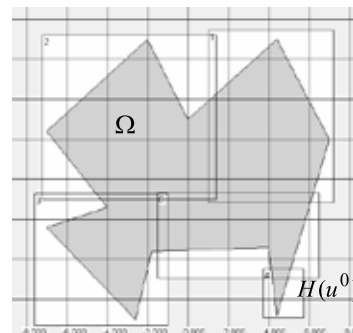


Рис. 1. Выполнение условия (1)

Для каждого фиксированного  $u^0 \in R^{2n}$  множество  $H(u^0)$  можно представить в виде пересечения

$$H(u^0) = \bigcap_{i=1, 2, \dots, m} H_i(u^0),$$

где  $H_i(u^0)$  – замыкание дополнения до  $i$ -ой компоненты связности множества  $P(u^0)$ .

Таким образом,  $\Lambda(u^0)$  является покрытием области  $\Omega$ , если существует вектор  $u^0$ , такой что  $\Omega \subset P(u^0)$ .

Конструктивным средством аналитического описания условия (1) является  $\Gamma$ -функция [6].

По определению  $\Gamma$ -функция для множеств  $\Omega$  и  $\Lambda(u)$  – это функция

$$\Gamma(u) = F(u, 0), \tag{2}$$

где

$$F(u, v) = \begin{cases} F_1(u, v) & \text{если } u \in R_1^{2n} \\ F_2(u, v) & \text{если } u \in R_2^{2n} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ F_\eta(u, v) & \text{если } u \in R_\eta^{2n} \end{cases}, \tag{3}$$

где  $R^{2n} = \bigcup_{q=1}^{\eta} R_q^{2n}$  – разбиение пространства  $R^{2n}$ ,  $\eta \leq K^\sigma$ ,

$\sigma = \frac{1}{2}n(n-1)$ . Здесь  $K = 11$ , если  $a_i \neq a_j$  и  $b_i \neq b_j$ ;  $K = 7$ , если  $a_i = a_j$  и  $b_i \neq b_j$  или  $a_i \neq a_j$  и  $b_i = b_j$ ;  $K = 5$ , если  $a_i = a_j$  и  $b_i = b_j$ . Заметим, что значение параметра  $K$  определяется числом видов взаимных расположений пары прямоугольников  $P_i$  и  $P_j$  [6, 7] в зависимости от значений их метрических характеристик.

Таким образом, если  $\Gamma(u^*) = \max \Gamma(u) \geq 0$ , тогда семейство  $\Lambda(u^*)$  покрывает область  $\Omega$ .

Понятие  $\Gamma$ -функции основано на понятии  $\Phi$ -функции, поскольку

$$F_i(0, v) = \Phi_i(v), i=1, 2, \dots, m, \tag{4}$$

где  $\Phi_i(v)$  –  $\Phi$ -функция для  $\Omega$  и множества  $H_i(u^0)$ .

Каждое множество  $H_i(u^0)$  представимо в виде конечного объединения базовых объектов  $C_{ij}$ , то есть  $H_i(u^0) = \bigcup_{j=1, \dots, \lambda_i} C_{ij}(u^0)$ . В качестве базовых объектов  $C_{ij}$  в данном исследовании рассматриваются полуплоскости, конусы, полубесконечные полосы и прямоугольники.

Полагаем, что  $\Omega$  – выпуклое множество. Тогда, следуя [5],  $\Phi_i(v) = \min\{\Phi_{ij}(v), j=1, 2, \dots, \lambda_i\}$ , где  $\Phi_{ij}(v)$  –  $\Phi$ -функция для объектов  $\Omega(v)$  и  $C_{ij}, j=1, 2, \dots, \lambda_i, v=(x, y)$ .

Заметим, что  $\Phi$ -функция вида  $\Phi_i(v)$  для множеств  $H_i(u^0)$  и  $\Omega(v)$  при любом  $u^0 \in R_q^{2n}, q=1, 2, \dots, \eta$  имеет один и тот же вид [4]. В этой связи в дальнейшем для  $H_i(u^0)$  и  $\lambda_i$  введем индекс  $q$ , соответствующий подмножеству  $R_q^{2n}$ .

Пусть  $u^0 \in \text{int } R_q^{2n}$ . Тогда  $\Phi$ -функция для множеств  $\Omega(v)$  и  $H_{qi}(u^0)$  имеет следующий вид:

$$\Phi_{qi}(v) = \min\{\Phi_{qij}(v), j=1, 2, \dots, \lambda_{qi}\}, \tag{5}$$

где  $\Phi_{qij}(v)$  –  $\Phi$ -функция для двух многоугольных выпуклых множеств  $\Omega(v)$  и  $C_{ij}(u^0)$  [4, 5].

Основываясь на соотношении (5), определим функцию  $F_{qi}(u, v)$  следующим образом:

$$F_{qi}(u, v) = \min\{F_{qij}(u, v), j=1, 2, \dots, \lambda_{qi}\}, \tag{6}$$

где  $F_{qij}(0, v) = \Phi_{qij}(v)$ .

Определим функцию

$$F_q(u, v) = \min\{F_{qi}(u, v), i=1, 2, \dots, m\}, \tag{7}$$

где  $F_{qi}(u, v)$  задана соотношением (6).

Заметим, что

$$F_{qi}(u, v) = \Phi_{qi}(v), \tag{8}$$

где  $\Phi_{qi}(v)$  –  $\Phi$ -функция для множеств  $\Omega$  и  $H_{qi}(u^0), i=1, 2, \dots, m$ .

Таким образом, если  $\max F_q(u, v) < 0$ , то семейство  $\Lambda(u)$  не может быть покрытием области  $\Omega$  для любого  $u \in R_q^{2n}$ .

Если существует  $(u^*, v^*)$  такой, что

$$F_q(u^*, v^*) = F_q(u, v) \geq 0,$$

то условие (1) выполняется.

Учитывая (2)-(8), математическая модель поставленной задачи может быть представлена в следующем виде [6]:

$$\max_{u \in R^{2n}} \Gamma(u). \tag{9}$$

При этом процесс решения задачи (9) может быть завершен, как только  $\Gamma(u^j) \geq 0$ , где  $u^j$  определяется на  $j$ -ой итерации.

Поскольку множество  $\Omega$  – выпуклое, то задача (9) может быть представлена следующим образом:

$$\chi^* = \max\{\chi_q^*, q=1, 2, \dots, \eta_1\}, \tag{10}$$

$$\chi_q^* = \Gamma_q(u^*) = \max_{u \in R_q^{2n}} \Gamma_q(u), \tag{11}$$

$$q = 1, 2, \dots, \eta_1 < \eta,$$

где  $\eta_1$  – это число функций вида (6).

Процесс решения заканчивается, как только выполняется неравенство  $\chi_q^* \geq 0$ .

Таким образом, модель (10)-(11) позволяет построить дерево решения, конечным вершинам которого соответствуют функции  $\Gamma_q(u), q=1, 2, \dots, \eta_1$ .

В случае, если  $\Omega$  – невыпуклое множество, тогда осуществляется выпуклая многоугольная декомпозиция области  $\Omega$  [9] вида  $\Omega = \bigcup_{k=1}^{\tau} \Omega_k$  (рис. 2), например, используя алгоритм, приведенный в работе [9].

Тогда задача (9) примет вид:

$$\chi^* = \min_{k=1, \dots, \tau} \chi_k^*, \tag{12}$$

где  $\chi_k^*$  определяется в результате решения задачи (10)-(11) для  $k=1, \dots, \tau$ .

Далее предлагается следующая стратегия решения задачи (12).

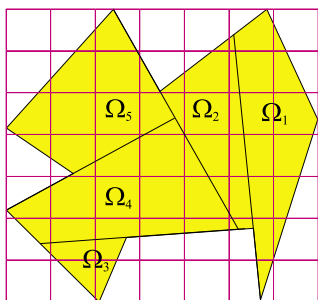


Рис. 2. Выпуклая декомпозиция области  $\Omega = \bigcup_{k=1}^5 \Omega_k$

Прежде всего оценивается суммарная площадь  $S_1$  покрывающих прямоугольников и площадь  $S_2$  области покрытия  $\Omega$ . Если  $S_2 - S_1 > 0$ , то покрытие не существует, в противном случае осуществляются следующие этапы:

- 1) построение начального размещения прямоугольников относительно области покрытия  $\Omega_k$ ,  $k \in \{1, \dots, \tau\}$ ;
- 2) решение последовательности задач линейного программирования (11);
- 3) решение задачи (10);
- 4) решение задачи (12) в случае, если область покрытия — невыпуклое многоугольное множество.

При решении практических задач оптимизации важным этапом является выбор начальной точки. Если начальная точка принадлежит области допустимых решений, то покрытие построено. В противном случае осуществляется поиск допустимого решения методом спуска из построенной начальной точки. Как правило, чем ближе начальная точка лежит к области допустимых решений, тем успешнее второй этап решения задачи.

Таким образом, возникает необходимость в разработке эффективного метода поиска «достаточно хороших» начальных точек.

#### Метод 1

Ниже предлагается подход к построению начального размещения в задаче покрытия многоугольной области прямоугольниками методом последовательно-одиночного размещения, являющегося модификацией метода оптимизации по группам переменных Гаусса — Зейделя. Этот подход использует аппроксимацию области покрытия набором прямоугольников — многоугольным множеством, все углы которого либо прямые, либо равны 270 градусов.

Используется два представления области покрытия.

Первое представление  $P1$  области — в виде точного покрытия области набором прямоугольников (рис. 3). С целью снижения затрат вычислительных ресурсов желательно использовать покрытие минимальным числом прямоугольников максимальной площади. Такое представление области используется

для генерации «точек-кандидатов» при размещении каждого очередного прямоугольника. Для формирования набора точек используются как вершины прямоугольников  $P1$ , так и вершины прямоугольных оболочек всех пар прямоугольников  $P1$ .

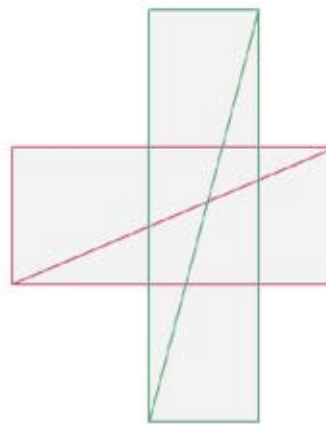


Рис. 3.  $P1$ -представление области покрытия

Второе представление  $P2$  области покрытия строится в виде разбиения на прямоугольные подобласти (рис. 4). Разбиение может быть произвольным, но с целью снижения вычислительных затрат желательно использовать разбиение области на минимальное число прямоугольников. Такое представление области используется для определения площади пересечения области и размещаемого прямоугольника.

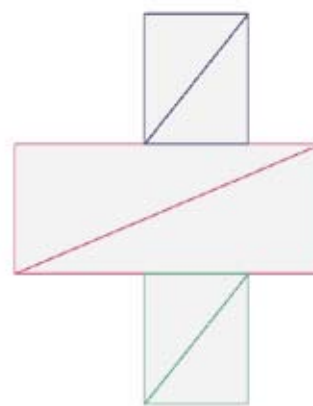


Рис. 4.  $P2$ -представление области покрытия

При поиске местоположения каждого из размещаемых прямоугольников  $P_i$  решается многокритериальная задача. В числе критериев (по степени убывания приоритета) — максимум покрываемой площади свободной части области, максимум площади области перекрытия с ранее размещёнными прямоугольниками и минимум числа прямоугольников, порождённых в  $P1$  размещённым прямоугольником  $P_i$  (рис. 5).

После определения местоположения каждого из размещаемых прямоугольников  $P_i$  представления области  $P1$  и  $P2$  перестраиваются (рис. 6).



Рис. 5. Два положения прямоугольника в области  $P$  отличаются числом порождённых прямоугольных подобластей  $P_1$

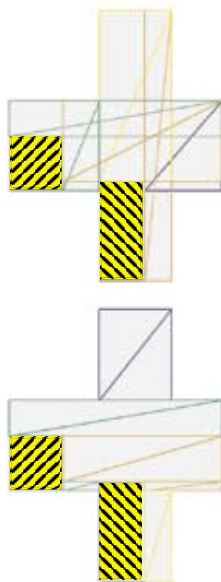


Рис. 6. Пример  $P_1$ - и  $P_2$ -представления области после размещения двух прямоугольников

На втором этапе построения начальной точки производится оптимизация, основанная на использовании того же метода оптимизации по группам переменных Гаусса — Зейделя. На этом этапе осуществляется последовательное выделение небольших групп объектов (от 1 до 4) из уже построенного размещения и их повторное размещение по описанным выше правилам.

Следует отметить, что для данного подхода существенное влияние на качество полученного решения оказывает последовательность, в соответствии с которой производится размещение объектов. Таким образом, генерируя разные последовательности, можно получать различные начальные точки.

С целью реализации второго этапа стратегии решения поставленной задачи формируется вспомогательная задача линейного программирования (11), которая решается с помощью модификации симплекс-метода [10].

Алгоритм решения задачи (11) является методом «допустимой точки». В качестве начальной точки выбирается решение, полученное на предыдущем этапе.

Если покрытие не найдено, то выбирается новая стартовая точка.

Третий этап заключается в выборе максимального значения на дискретном множестве  $\{\chi_1^*, \chi_2^*, \dots, \chi_\tau^*\}$ .

Четвертый этап состоит в поиске минимального значения  $\chi_k^*$  для всех  $k = 1, \dots, \tau$ .

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий работу предложенных методов.

**Пример**

Пусть задана прямоугольная область покрытия  $\Omega = \{(x, y) \in R^2, -7 \leq x \leq 7, -5 \leq y \leq 5\}$  и  $R_i, i = 0, \dots, 8$  метрическими характеристиками (табл. 1).

**Таблица 1**  
Метрические характеристики объектов  $R_i$

|       | $a$ | $b$ |
|-------|-----|-----|
| $R_0$ | 2,5 | 3,5 |
| $R_1$ | 1,5 | 1,5 |
| $R_2$ | 2,5 | 4   |
| $R_3$ | 1   | 2   |
| $R_4$ | 2,5 | 1,5 |
| $R_5$ | 4   | 1,5 |
| $R_6$ | 2   | 3   |
| $R_7$ | 2   | 1   |
| $R_8$ | 1,5 | 2   |

На рис. 7 приведено начальное размещение прямоугольников  $R_i, i = 0, \dots, 8$  с вектором параметров размещения  $u_0^1$  относительно  $\Omega$ , полученное методом 1.

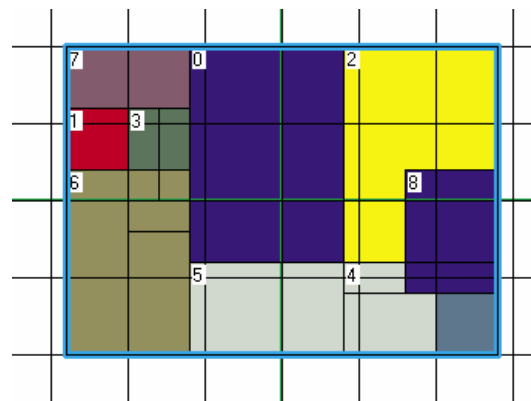


Рис. 7. Начальное размещение семейства  $\Lambda(u_0^1)$  является покрытием прямоугольной области  $\Omega$

В общем случае может быть найдена начальная точка, которая не позволяет найти покрытие, используя предложенную в данной работе стратегию. В этом случае предлагается следующий подход.

### Метод 2

Прежде всего аппроксимируется область покрытия  $\Omega$  прямоугольником  $\Omega^*$  наименьших размеров.

Далее осуществляется разбиение  $\Omega^*$  на  $\beta > n$  прямоугольных подобластей  $R_\rho$ ,  $\rho = 1, 2, \dots, \beta$ ,  $\beta = \beta_x \times \beta_y$  в зависимости от числа покрывающих прямоугольников (рис. 8).

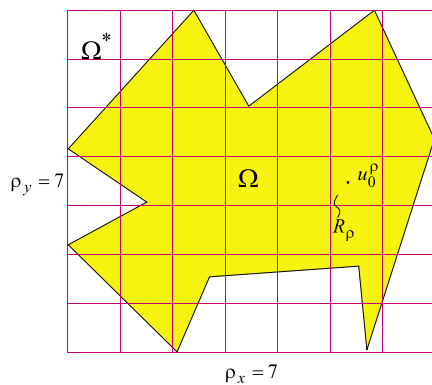


Рис. 8. Разбиение области  $\Omega^*$

Последовательно размещаются покрывающие прямоугольники в точках  $O_\rho$ , которые являются центрами симметрии прямоугольников  $R_\rho$ , то есть параметры размещения покрывающих прямоугольников  $R_i$  равны  $u_i = u_0^\rho = (x_0^\rho, y_0^\rho)$ ,  $\rho = 1, 2, \dots, \beta$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

*Замечание.* Каждая новая последовательность покрывающих прямоугольников выбирается случайным образом.

Рис. 9 иллюстрирует начальное размещение прямоугольников  $R_i$ ,  $i = 0, \dots, 8$  с вектором параметров размещения  $u_0^2$  относительно  $\Omega$ , полученное методом 2, при этом условие (1) не выполняется.

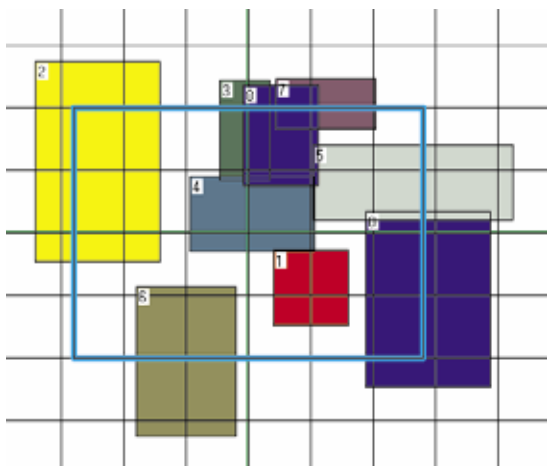


Рис. 9. Начальное размещение семейства  $\Lambda(u_0^2)$

Результат работы стратегии 1)-3) с начальной точкой  $u_0^2$  приведен на рис. 10.

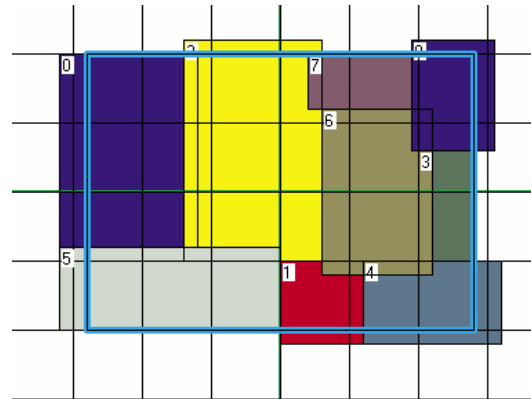


Рис. 10. Покрытие прямоугольной области  $\Omega$  прямоугольниками  $R_i$ ,  $i = 0, \dots, 8$

### Выводы

Таким образом, предложенная стратегия позволяет найти вектор  $u^0 \in R^{2n}$  параметров размещения покрывающих объектов в случае, когда покрытие существует.

Перспективным является использование предложенного подхода для разработки эффективных методов решения задачи покрытия многоугольной области многоугольными объектами.

**Список литературы:** 1. Daniels K., Inkulu R. An Incremental Algorithm for Translational Polygon Covering// University of Massachusetts at Lowell Computer Science Technical Report Number 2001-001. 2. Стоян Ю. Г., Яковлев С. В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. — К.: Наук. думка, 1986. — 226 с. 3. Злотник М. В., Кривуля А. В. Критерий покрытия в задаче покрытия прямоугольной области прямоугольными объектами // 36. тез доповідей II Міжнар. наук. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології». — Донецьк. — 2006. — С. 248-249. 4. Stoyan Y., Scheithauer G., Gil M., Romanova T.,  $\Phi$ -function for complex 2D objects// 4OR Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies. Volume 2, Number 1, 2004 P. 69–84. 5. Stoyan Y., Terno J., Scheithauer G., Gil N., Romanova T.  $\Phi$ -function for 2D primary objects// Studia Informatica, Paris, University. 2002. Vol. 2, № 1. — P. 1–32. 6. Stoyan Y. Covering a polygonal region by a collection of various size rectangles // Проблемы машиностроения. — 2007. Т. 10, № 2. — С. 67-82. 7. Кривуля А. В. Математическая модель задачи покрытия многоугольной области семейством прямоугольников / Системы обработки информации// 2007. — Вып. 8 (66). — С. 143-145. 8. Kuratowski K. Topology// Vol. I: New York and London, — Academic press, 1966. — P. 594. 9. Злотник М. В. Математична модель і метод розв'язання оптимізаційної задачі розміщення неорієнтованих багатокутників і кругів. — Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02/ Ин-т проблем машиностроения. — Харьков. — 2007. — 18 с. 10. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: Мир, 1985. — 510 с.

Поступила в редколлегию 10.10.2007

УДК 004.89



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИММУННОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ

Н.М. Кораблев<sup>1</sup>, И.В. Овчаренко<sup>2</sup>, В.В. Токарев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, korablev@kture.kharkov.ua

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, i.ovcharenko@kture.kharkov.ua

<sup>3</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, tvv.v@mail.ru

В работе приводится сравнительный анализ иммунного алгоритма, основанного на принципе клонального отбора и теории иммунной сети, и простого генетического алгоритма в задачах глобальной и мультимодальной оптимизации нелинейных функций нескольких переменных. Показана эффективность применения иммунного алгоритма для нахождения глобальных и локальных экстремумов в задачах мультимодальной оптимизации. Рассмотрена вычислительная сложность приведенных алгоритмов.

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СИСТЕМЫ, ИММУННЫЙ АЛГОРИТМ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, МУТАЦИЯ, ГЛОБАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

### Введение

При решении задачи оптимизации нелинейных функций нескольких переменных необходимо учитывать их свойства, что существенно влияет на выбор метода ее решения. Оптимальное решение задачи оптимизации может быть получено с использованием классических методов прямого поиска (методов сеток, покоординатного спуска, случайного поиска) либо градиентных методов, использующих значения первых производных. Однако недостатком этих методов является необходимость определения характера целевой функции (непрерывность, унимодальность, дифференцируемость функции), зависимость от начального приближения и, как следствие, большая вероятность «застревания» алгоритма в локальном экстремуме. Таким образом, в условиях отсутствия априорной информации о характере поведения целевой функции использование классических методов оптимизации является сложной, а часто нерешаемой задачей. В связи с этим встает задача использования таких методов оптимизации, которые были бы способны отыскивать решения практически при полном отсутствии предположений о характере исследуемой функции. К таким методам относятся методы, в основе которых лежат биологические процессы, существующие в природе, в частности, искусственные иммунные системы (ИИС) и генетические алгоритмы (ГА).

ИИС представляют собой направление искусственного интеллекта, эмулирующее естественную иммунную систему. В ИИС используется способность естественной иммунной системы вырабатывать новые типы антител и отбирать наиболее подходящие из них для взаимодействия с попавшими в организм антигенами. Иммунная система обладает свойствами разнообразия, памяти, распределенного обнаружения, сетевой организации, обучения,

распознавания, которые позволяют использовать ее для решения таких проблем как оптимизация, распознавание образов, поиск данных, компьютерная безопасность, обнаружение ошибок, классификация и других [1, 2].

ГА представляют собой эволюционные алгоритмы, реализующие адаптивные методы поиска. Эти алгоритмы обеспечивают выживание сильнейших решений из множества сгенерированных, формируя и изменяя процесс поиска на основе моделирования эволюции исходной популяции решений [3]. ГА применяются для решения многих конкретных научных и технических проблем, но одним из наиболее распространенных приложений генетических алгоритмов является их использование для оптимизации многопараметрических функций.

Применение ИИС и ГА позволяет решать многие проблемы классических методов оптимизации.

### 1. Постановка задачи

Рассматривается задача оптимизации нелинейных функций нескольких переменных:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad x_1, x_2, \dots, x_n \in X.$$

Эта задача решается с использованием иммунного алгоритма (ИА), основанного на принципе клонального отбора и теории иммунной сети, и простого ГА. При этом антитела в ИА и хромосомы в ГА представляют собой строки фиксированной длины  $S = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ , состоящие из двоичных символов и представляющие вещественные значения переменных оптимизируемой функции. Для кодирования значений переменных используется код Грея.

В работе ставится задача проведения сравнительного анализа применения ИА и ГА для решения задач оптимизации по следующим направлениям: глобальная оптимизация, мультимодальная оптимизация, вычислительная сложность алгоритмов.



**2. Решение задачи оптимизации**

**2.1. Иммуный алгоритм**

Исследуемый ИА для решения задачи оптимизации основан на принципе клонального отбора и теории иммунной сети и включает следующие шаги [4]:

Шаг 1. Генерация популяции антител  $Ab$ .

Шаг 2. Вычисление аффинности популяции антител  $Ab$  к выбранному антигену  $Ag_i$ .

Шаг 3. Клонирование  $n$  лучших по популяции антител  $N_c$  раз, формирование популяции клонов  $C$ .

Шаг 4. Мутация клонов, формирование популяции  $C_m$ .

Шаг 5. Определение аффинности клонов, подвергавшихся мутации.

Шаг 6. Клетки популяции  $C_m$  с лучшей аффинностью к выбранному антигену формируют популяцию клеток памяти  $M$ .

Шаг 7. Определение аффинности антител внутри популяции, супрессия антител.

Шаг 8. Количество антител  $N_d$  с худшими значениями аффинности заменяется новыми.

Шаг 9. Если достигнуто правило останова, то осуществляется переход к шагу 10, в противном случае — переход к шагу 2.

Шаг 10. Конец работы.

**2.2. Генетический алгоритм**

Простой ГА поиска оптимальных решений включает следующие этапы процесса эволюции [3]:

Шаг 1. Генерация начальной популяции хромосом.

Шаг 2. Вычисление приспособленности хромосом популяции (целевая функция) и средней приспособленности всей популяции.

Шаг 3. Выбор двух родителей (хромосом) для кроссовера пропорционально приспособленности хромосом.

Шаг 4. Формирование генотипа потомка. Применение с заданной вероятностью операторов кроссовера и мутации.

Шаг 5. Обновление текущей популяции путем замены случайно выбранной хромосомы.

Шаг 6. Пересчет средней приспособленности популяции.

Шаг 7. Если достигнуто правило останова, то осуществляется переход к шагу 8, в противном случае — переход к шагу 3.

Шаг 8. Конец работы.

**3. Экспериментальные исследования**

Сравнительный анализ иммунного и генетического алгоритмов проводился на примере тестовых функций, приведенных в табл. 1.

**3.1. Глобальная оптимизация**

В процессе работы иммунного алгоритма при поиске глобального минимума тестовых функций

среднее по популяции значение аффинности стремится к минимальному значению, так как антитела сосредоточиваются в одном пике, образуя клетки памяти. Таким образом, выполнение алгоритма прекращается при приближении среднего по популяции значения функции цели к минимальному значению (рис. 1а, 2а, 3а).

**Таблица 1**

| № | Функция   | Область поиска         |
|---|---|------------------------|
| 1 | $F_1(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2$   | $x_1, x_2 \in [-5, 5]$ |
| 2 | $F_2(x_1, x_2) = 3(1 - x_1)^2 \times \exp(-x_1^2 - (x_2 + 1)^2) - 10\left(\frac{x_1}{5} - x_1^3 - x_2^5\right) \exp(-x_1^2 - x_2^2) - \frac{1}{3} \exp(-(x_1 + 1)^2 - x_2^2)$ | $x_1, x_2 \in [-3, 3]$ |
| 3 | $F_3(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 - \cos(18x_1) - \cos(18x_2)$   | $x_1, x_2 \in [-1, 1]$ |

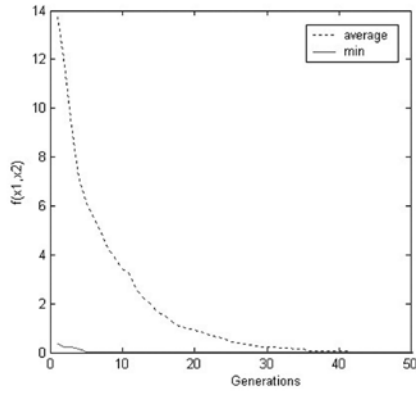
В случае работы генетического алгоритма критерием останова может служить только заранее заданное количество поколений, так как в процессе выполнения алгоритма поддерживается высокое разнообразие хромосом, которые не сосредоточиваются в одной точке, а продолжают поиск (рис. 1б, 2б, 3б). Результатом будет минимальное по популяции значение функции приспособленности хромосомы.

**3.2. Мультимодальная оптимизация**

ИА позволяет выполнять мультимодальную оптимизацию функций, используя принципы клонального отбора и сетевого сжатия (рис. 4а, 5а).

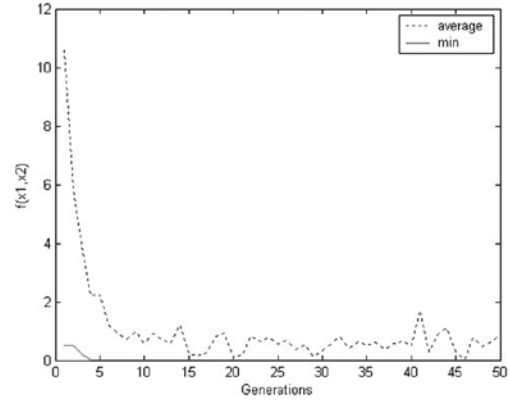
Важным параметром ИА при выполнении мультимодальной оптимизации является вероятность мутации  $pm$ . Большая вероятность мутации поддерживает разнообразие антител в иммунной системе на достаточно высоком уровне, делая случайные скачки по всей области поиска, и позволяет находить глобальный экстремум, не застревая в точках локального оптимума. Небольшая вероятность мутации позволяет иммунной системе исследовать локальную область вокруг антитела, делая небольшие шаги в поиске антител с лучшей аффинностью, ведущие к оптимальному значению. Данный процесс позволяет помимо нахождения глобального экстремума создавать клетки памяти в точках локального оптимума. Механизм мутации необходимо регулировать в процессе работы ИА.

Большая скорость мутации необходима для быстрой сходимости ИА, однако, большинство изменений могут привести к нефункциональным антителам с плохой аффинностью. Так, для антител с улучшенной в результате мутации аффинностью необходимо



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 50, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,1

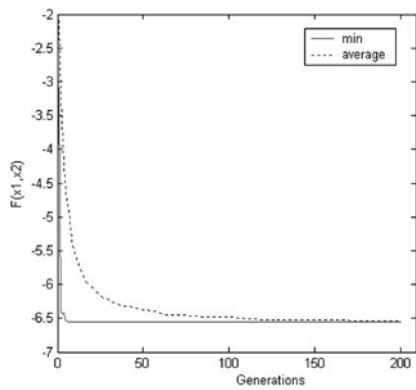
*a*



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 50, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01, вероятность кроссовера – 0,7

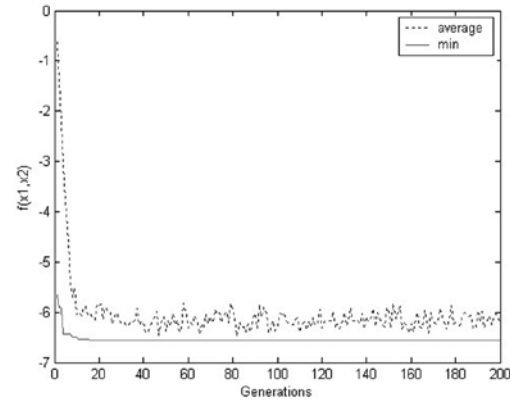
*б*

Рис. 1. Глобальная оптимизация унимодальной функции  $F1$  с помощью иммунного (*a*) и генетического (*б*) алгоритмов



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 200, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,3

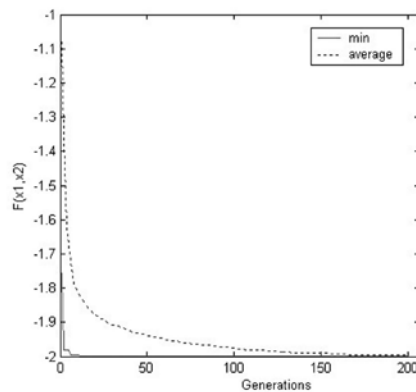
*a*



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 200, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01, вероятность кроссовера – 0,7

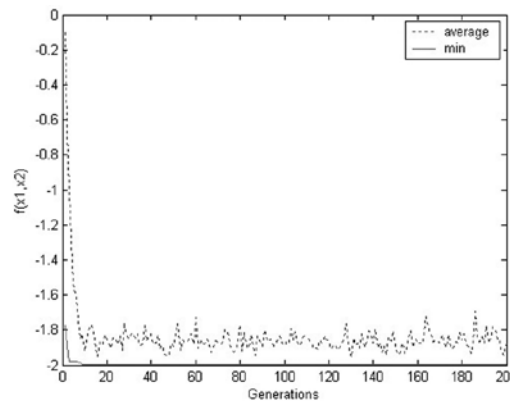
*б*

Рис. 2. Глобальная оптимизация мультимодальной функции  $F2$  с использованием иммунного (*a*) и генетического (*б*) алгоритмов



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 200, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,3

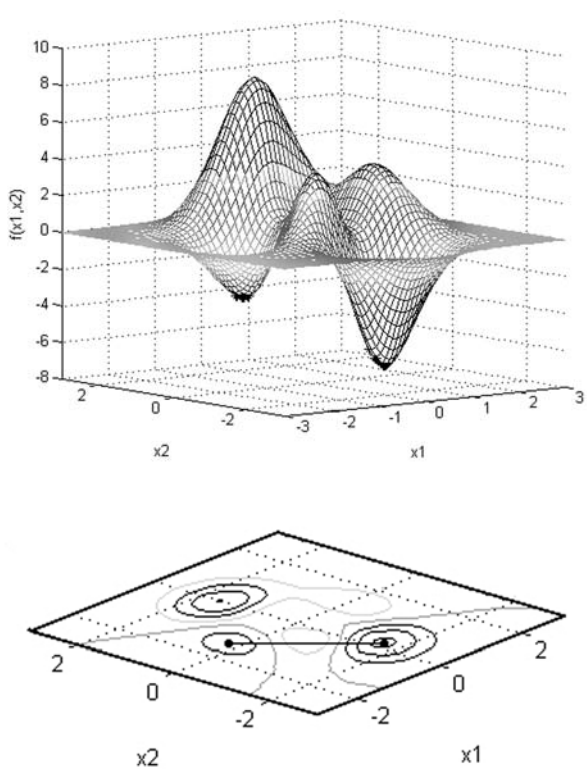
*a*



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 200, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01, вероятность кроссовера – 0,7

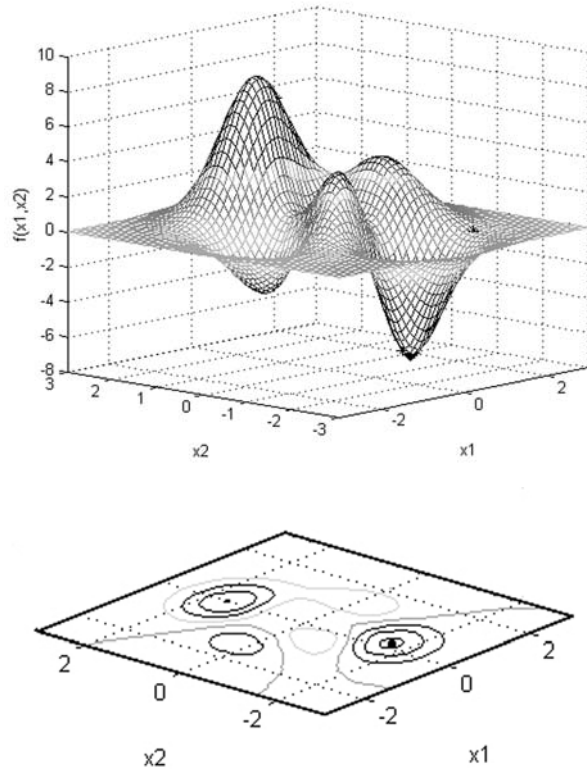
*б*

Рис. 3. Глобальная оптимизация мультимодальной функции  $F3$  с использованием иммунного (*a*) и генетического (*б*) алгоритмов



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 300, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01

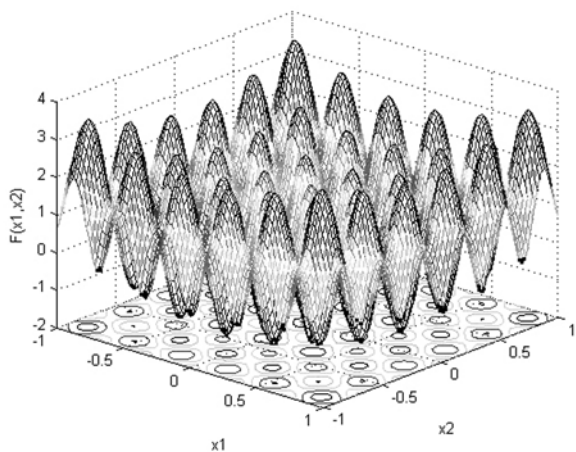
*a*



Размер начальной популяции – 100, количество поколений – 300, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01, вероятность кроссовера – 0,7

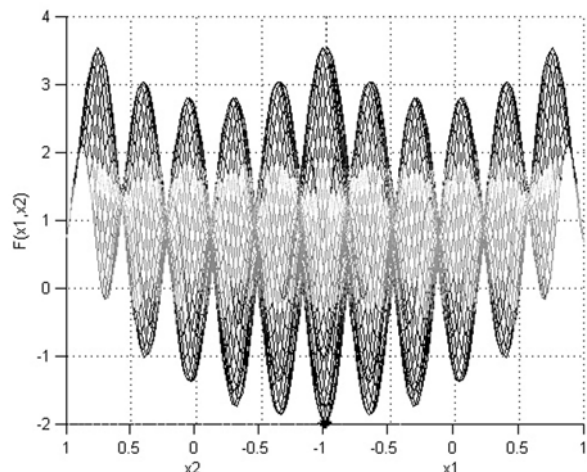
*б*

Рис. 4. Оптимизация мультимодальной функции  $F_2$  с использованием иммунного (*a*) и генетического (*б*) алгоритмов



Размер начальной популяции – 300, количество поколений – 300, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01

*a*



Размер начальной популяции – 300, количество поколений – 300, кодирование переменных – двоичное, вероятность мутации – 0,01, вероятность кроссовера – 0,7

*б*

Рис. 5. Оптимизация мультимодальной функции  $F_3$  с использованием иммунного (*a*) и генетического (*б*) алгоритмов

уменьшать вероятность мутации в последующих поколениях работы ИА, чтобы не потерять полученные преимущества. ГА позволяет находить лишь глобальный экстремум (рис. 4б, 5б), не останавливаясь в точках локальных экстремумов, за счет постоянного поддержания разнообразия хромосом операторами отбора и кроссовера. Механизм мутации в случае использования ГА применяется случайным образом с низкой вероятностью для обеспечения сходимости алгоритма и восстановления утерянных в результате механизмов отбора и кроссовера хромосом с высокими значениями приспособленности.

Для выделения нескольких экстремумов функции с помощью ГА необходимо экспериментировать с различными операторами кроссовера и мутации, различными подходами к воспроизводству и отбору, но и в этом случае хромосомы, сгруппировавшиеся вокруг локальных экстремумов, будут постепенно вытесняться хромосомами, близкими к глобальному экстремуму, так как генетические алгоритмы не обладают памятью, свойственной иммунным системам. Отсутствие механизмов сетевого взаимодействия хромосом внутри популяции также является недостатком ГА при мультимодальной оптимизации.

### 3.3. Вычислительная сложность алгоритмов

При решении задач оптимизации ИА и ГА реализуют механизм случайно направленного перебора. Поиск решения осуществляется не из единственной точки, а из популяции точек, то есть выполняется одновременный анализ различных областей пространства решений. При этом хоть и не выполняется полный перебор всех точек в пространстве поиска, но обрабатывается значительное число гиперплоскостей поискового пространства, отличающихся высокой приспособленностью, что приводит к определенным вычислительным затратам при использовании данных алгоритмов. На вычислительную сложность ИА значительное влияние оказывают параметры механизма клонирования антител. В процессе работы ИА  $n$  антител с лучшей аффинностью создают популяцию клонов, копируя себя  $N_c$  раз. В результате увеличения количества  $n$  антител для клонирования популяция клонов оказывается существенно большей в размерах, чем исходная популяция антител. С увеличением параметра  $N_c$  достигается более быстрая сходимость ИА, что приводит, однако, к увеличению времени вычисления для каждого поколения ИА. Таким образом, изменение параметров  $n$  и  $N_c$  ИА позволяет выбирать необходимое соотношение вычислительной сложности и скорости сходимости алгоритма.

Генетический алгоритм обладает меньшей вычислительной сложностью за счет отсутствия в каждом поколении значительной по размерам популяции клонов и сетевого взаимодействия, осуществляющего контроль увеличения популяции.

В табл. 2 приведены временные затраты при оптимизации унимодальной функции  $F1$  и мультимодальных функций  $F2$  и  $F3$  для 300 поколений. Были использованы следующие параметры ИА и ГА: размер начальной популяции – 100; кодирование переменных – двоичное (точность – 22 бита); вероятность мутации – 0,1 (для ИА); вероятность мутации – 0,01 (для ГА); вероятность кроссовера – 0,7 (для ГА). Видно, что время работы алгоритмов для выполнения 300 поколений больше для ИА.

Таблица 2

| № | Функция   | Время выполнения 300 поколений |        |
|---|---|--------------------------------|--------|
|   |   | ИА                             | ГА     |
| 1 | $F_1(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2$   | 113,52                         | 16,23  |
| 2 | $F_2(x_1, x_2) = 3(1 - x_1)^2 \times \exp(-x_1^2 - (x_2 + 1)^2) - 10\left(\frac{x_1}{5} - x_1^3 - x_2^5\right) \exp(-x_1^2 - x_2^2) - \frac{1}{3} \exp(-(x_1 + 1)^2 - x_2^2)$ | 116,667                        | 18,206 |
| 3 | $F_3(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 - \cos(18x_1) - \cos(18x_2)$   | 116,938                        | 26,949 |

### Выводы

В работе проведен сравнительный анализ применения иммунного и генетического алгоритмов в задачах оптимизации нелинейных функций. Эффективность ИА и ГА для решения задач оптимизации заключена в способности отыскивать решения практически при полном отсутствии предположений о характере исследуемой функции, а также манипулировать одновременно многими параметрами.

Использование ГА в задачах оптимизации требует меньших вычислительных ресурсов. Однако преимуществом ИА является возможность реализации параллельного распределенного поиска, позволяющего одновременно с глобальным экстремумом выполнять мультимодальную оптимизацию и определять локальные экстремумы нелинейных функций.

**Список литературы:** 1. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты: Пер. с англ. / Под ред А.А. Романюхи. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 344 с. 2. De Castro L. N., Timmis, J. I. Artificial Immune Systems: A Novel Paradigm to Pattern Recognition // In Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, SOCO-2002, University of Paisley, UK, 2002. — P. 67-84. 3. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 424 с. 4. Кораблев Н.М., Овчаренко И.В., Токарев В.В. Применение искусственных иммунных систем в задачах восстановления и оптимизации нелинейных зависимостей // «Бионика интеллекта»: Науч.-техн. журнал. — 2007. — № 1 (66). — С. 126-129.

Поступила в редколлегию 11.10.2007

УДК 004.89



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВЫХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ОПЛАТОЙ ЗА ОБУЧЕНИЕ В ВУЗЕ

Н.А. Дергачева<sup>1</sup>, И.В. Шостак<sup>2</sup>, А.С. Топал<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

<sup>2</sup> НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина, iv\_shostak@rambler.ru

<sup>3</sup> НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

В статье сформулированы основные задачи поиска знаний в базах данных для оценки финансовых рисков, связанных с оплатой за обучение в ВУЗе. Приведены возможные методы решения задач, основанные на применении технологий Data Mining.

ПОИСК АССОЦИАТИВНЫХ ЗНАНИЙ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ, ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING, АССОЦИАТИВНЫЕ ПРАВИЛА, ДЕРЕВЬЯ РЕШЕНИЙ

### Введение

В настоящее время в ВУЗах широко распространена контрактная форма подготовки специалистов, которая позволяет увеличить количество студентов и обеспечить качественный уровень работы профессорско-преподавательского и инженерно-технического составов. Применение данной формы обучения связано с рядом финансовых рисков для ВУЗов и банков, кредитующих обучение студентов, связанных с несвоевременной оплатой за обучение и погашением кредитных задолженностей. Таким образом, становится актуальным решение задачи разработки методики оценки финансовых рисков, связанных с оплатой за контрактное обучение.

Одним из важных этапов управления рисками является сбор и обработка первичных данных [1]. Полученная информация является основой применения различных технологий интеллектуального анализа данных (ИАД) [2, 3]. В последнее время получили распространение такие методы ИАД как: методы поиска ассоциативных правил [4], применение нейронных сетей [5, 6], деревьев решений [7], самоорганизующихся карт [8, 9]. Для повышения эффективности использования методов ИАД к рассматриваемым данным целесообразно применять сразу несколько алгоритмов [2]: деревья решений, нейронные сети и выводы путем сопоставления (memoory-based reasoning). Если несколько моделей приводят к одинаковым результатам, значит, найден наилучший сценарий. Это особенно полезно, когда инструмент выдает ответ, но не предлагает интуитивного объяснения (наиболее часто встречающаяся проблема нейронных сетей).

Целью статьи является обоснование актуальности и постановка задачи оценки финансового риска по характеристикам сведений о студентах, обучающихся в ВУЗах.

### 1. Постановка задачи исследования

Рассмотрим основные бизнес-процессы [10] в системе оплаты контрактного обучения (рис. 1). Оплата может проводиться прямыми платежами (1), при помощи кредитования (2-3), а также применением смешанной формы оплаты.

Прямые платежи производятся непосредственно студентом полностью за весь период обучения либо периодически по частям (раз в месяц, раз в триместр, раз в год). Финансовые риски в этом случае связаны с несвоевременным внесением оплаты за обучение самим студентом. Если студент оплачивает всю сумму за обучение сразу, то финансовый риск в процессе обучения студента отсутствует. Если оплата осуществляется по частям, то финансовый риск распределяется на весь период обучения.

Студент может получить банковский кредит на обучение как физическое лицо (2). В большинстве случаев для получения кредита необходим поручитель, а финансовым рискам подвергаются банки, выдавшие кредит на обучение.

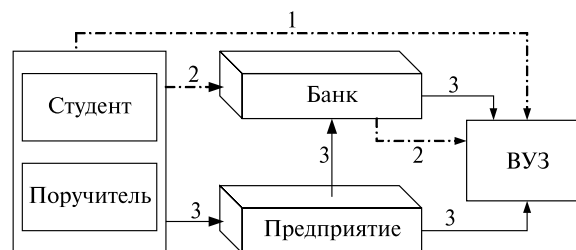


Рис. 1. Бизнес-процессы при оплате за обучение по контракту

При оформлении кредита на обучение студента могут привлекаться предприятия с различной формой собственности (3). При этом заключается договор между ВУЗом, студентом и предприятием на получение кредита. Предприятие выступает в качестве поручителя и оплачивает обучение студента в соответствии с условиями договора. Финансовым рискам подвергается непосредственно ВУЗ как субъект хозяйственной деятельности.

Анализ бизнес-процессов в системе оплаты за контрактное обучение показал, что финансовые риски при различных формах оплаты имеют различные источники, степени и величины риска, вероятности наступления рисков событий, следовательно, необходимы различные приемы управления риском и способами его снижения. Таким образом, оценку финансовых рисков необходимо проводить для каждого варианта оплаты за обучение в отдельности.

Процесс управления финансовым риском можно разделить на два этапа: этап анализа риска; этап принятия мер по устранению и минимизации. Анализ финансового риска включает: сбор и обработку данных по аспектам риска, качественный и количественный анализ риска.

Меры по устранению и минимизации финансового риска включают: выбор и обоснование предельно допустимых уровней риска, выбор методов снижения риска, формирование вариантов рискованного вложения капитала, оценку их оптимальности на основе сопоставления ожидаемой прибыли и величины риска.

При оценке финансовых рисков может быть применена технология поиска знаний в базах данных Data Mining (DM). Технология DM заняла свои позиции в последнее десятилетие, получив центральную роль во многих сферах бизнеса. Эта технология позволяет существенно повысить возможности организации в достижении целей. Ее популярность растет все больше, поскольку инструменты совершенствуются, получают все более широкое применение, дешевеют и становятся проще в использовании.

В основу технологии поиска знаний в данных положена концепция шаблонов (образов).

Эти шаблоны представляют собой функциональные, логические и другие закономерности, свойственные подвыборкам данных и могут быть компактно выражены в понятной человеку форме. Важным требованием к разыскиваемым шаблонам является их неожиданность, нетривиальность, неочевидность (unexpected regularities). Весь процесс выделения знаний из данных принято делить на этапы, представленные на рис. 2.

Большинство авторов приводит классификацию задач Data Mining по типам производимой информации [2, 3] и выделяет четыре наиболее типичные задачи извлечения знаний из данных в виде нахождения регулярностей в больших массивах информации:

- 1) построение классификатора;
- 2) кластеризация;
- 3) вывод правил ассоциации;
- 4) восстановление моделей зависимости.

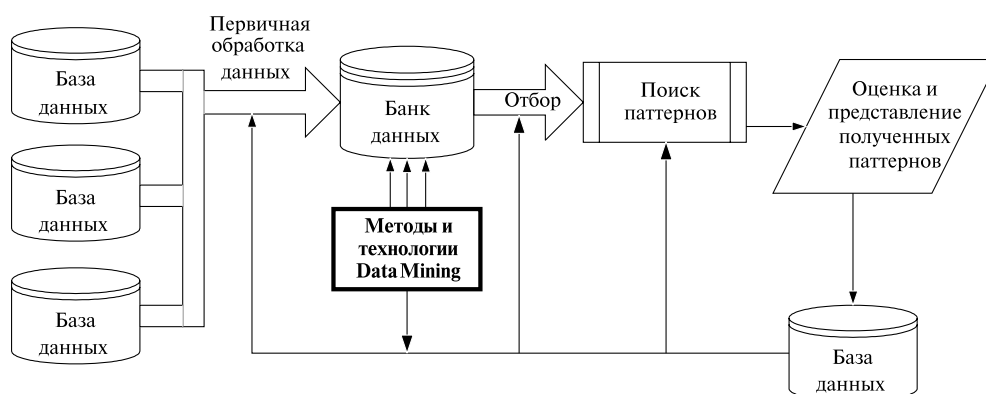


Рис. 2. Процесс обнаружения знаний в базах и хранилищах данных

Для решения реальной практической задачи, как правило, требуется применение нескольких подходов и методов.

Задача построения классификатора заключается в построении решающего правила на основании уже классифицированных объектов (обучающей выборки). С помощью решающего правила (набора правил) объект неизвестного класса может быть отнесен к какому-либо из имеющихся классов.

Под задачей кластеризации понимается разбиение множества объектов на заданное или неизвестное число классов на основании некоторого математического критерия качества классификации, это определяет непосредственную связь задачи кластеризации с задачей классификации.

Вывод ассоциативных правил заключается в нахождении шаблонов имплицитивного вида, отражающих набор взаимно сопутствующих событий. Каждое правило должно иметь меру определенности не ниже заданного уровня. Ассоциативное правило является, таким образом, логической закономерностью вида «Если...то...», свойственной подвыборке данных и обладающей статистической состоятельностью. Для поиска ассоциативных правил применяют методы ограниченного перебора или построения деревьев покрытий

Так, в случае оплаты за обучение при непосредственных прямых платежах возможно применение методов построения ассоциативных правил с целью получения ассоциативного портрета «потенциального неплательщика за обучение» на основе анализа базы данных о сроках оплаты и должниках по оплате за обучение. Или же наоборот, построение ассоциативного портрета «идеального плательщика». Подобные решения могут быть получены на основе применения нейронных сетей обратного распространения (back propagation) или самоорганизующихся карт Кохонена, которые помогут, имея информацию о некоторой из части исследуемых объектов (студентах, совершающих оплату за обучение), достаточно достоверно судить по ряду общих признаков об объектах, с которыми мы мало знакомы.

Рассматривая финансовые риски при кредитовании физических лиц для оплаты за обучение, необходимо отметить, что известна классическая задача Data Mining – задача о предоставлении кредита и ее решение методом построения дерева решений. На сегодняшний день известно достаточно много методик кредитного скоринга. Одной из самых известных является модель Дюрана. Однако известные методы принятия решения в большинстве случаев неприменимы [7] по причине плохой адаптируемости, ее высокой стоимости и большой вероятности ошибки модели при определении кредитоспособности потенциального заемщика, обусловленной субъективным мнением специалиста. Таким образом, необходим новый надежный инструмент для эффективного решения задач о предоставлении кредита, основывающийся на применении технологий Data Mining. Также, по мнению авторов, может быть интересной задача об оценке финансовых рисков при предоставлении кредита в условиях недостоверной информации (например, о доходах за последнее время).

При анализе финансового риска предоставления кредита для оплаты за обучение студента с привлечением различных предприятий, наряду с классическим решением задачи о предоставлении кредита, необходим анализ финансово-экономической деятельности предприятия, выступающего гарантом возвращения кредита за обучение студента с привлечением технологий Data Mining. На основе анализа имеющихся данных о выплатах предприятием задолженностей по выплатам, их известных финансово-экономических показателей возможно построение ассоциативных правил и на их основе – ассоциативного портрета «предприятия, не являющегося гарантом выплаты кредита» за обучение студента и наоборот «предприятия-надежного гаранта выплаты кредита».

## **2. Пример использования деревьев решений при оценке кредитоспособности физических лиц**

В данном примере [7] рассмотрено применение метода деревьев решений как одного из вариантов устранения недостатков скоринговой системы оценки кредитоспособности заемщика. Одним из вариантов решения подобной задачи является применение алгоритмов, решающих задачи классификации, то есть задачи отнесения какого-либо объекта (в данном случае потенциального заемщика) к одному из заранее известных классов (Предоставлять/Не предоставлять кредит). Деревья решений – один из методов автоматического анализа данных. Получаемая модель – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение.

Сущность метода дерева решений заключается в следующем:

1. На основе данных за прошлые периоды строится дерево. При этом класс каждой из ситуаций, на основе которых строится дерево, заранее известен. Для случая кредитования должно быть известно, была ли возвращена основная сумма долга и проценты и не было ли просрочек в платежах. При построении дерева все известные ситуации обучающей выборки сначала попадают в верхний узел, а потом распределяются по узлам, которые в свою очередь также могут быть разбиты на дочерние узлы. Критерий разбиения – это различные значения какого-либо входного фактора. Для определения поля, по которому будет происходить разбиение, используется показатель энтропии (мера неопределенности). Выбирается то поле, при разбиении по которому устраняется больше неопределенности. Неопределенность тем выше, чем больше примесей (объектов, относящихся к различным классам) находятся в одном узле. Энтропия равна нулю, если в узле будут находиться объекты, относящиеся к одному классу.

2. Полученную модель используют при определении класса («Предоставлять кредит»/«Не предоставлять кредит») для вновь возникших ситуаций (при поступлении заявки на получение кредита).

3. При существенном изменении текущей ситуации дерево можно (и даже нужно) перестроить, то есть адаптировать к существующей обстановке.

Для практического примера была использована программа Tree Analyzer из пакета Deductor (v.3). В качестве исходных данных была взята выборка, состоящая из 1000 записей, где каждая запись – это описание характеристик заемщика и параметр, описывающий его поведение во время погашения займа. При обучении дерева (кроме стандартных параметров) использовались следующие факторы, определяющие заемщика: ‘Размер ссуды’; ‘Срок ссуды’; ‘Цель ссуды’; ‘Среднемесячный доход’; ‘Среднемесячный расход’; ‘Основное направление расходов’; ‘Наличие недвижимости’; ‘Наличие автотранспорта’; ‘Наличие банковского счета’; ‘Наличие страховки’; ‘Отраслевая принадлежность предприятия’; ‘Срок работы на данном предприятии’; ‘Направление деятельности заемщика’; ‘Срок работы на данном направлении’; ‘Пол’; ‘Семейное положение’; ‘Возраст’; ‘Срок проживания в данной местности’; ‘Обеспеченность займа’; ‘Предоставлять кредит’. Некоторые поля (‘№ Паспорта’, ‘ФИО’, ‘Адрес’, ‘Название организации’) определены алгоритмом уже до начала построения дерева решений как непригодные по причине практически уникальности каждого из значений. Целевым полем является поле ‘Предоставлять кредит’, принимающее значения ‘Да’ и ‘Нет’.

После процесса построения дерева решений при помощи программы Tree Analyzer получена модель оценки кредитоспособности физических лиц, описывающая ситуацию, относящуюся к определенному банку. Эта модель представляется в виде иерархической структуры правил – дерева решений.

Анализируя полученное дерево решений, можно сделать следующие выводы:

1. При помощи дерева решений можно проводить анализ значащих факторов, так как при определении параметра на каждом уровне иерархии используется критерий наибольшего устранения неопределенности. Таким образом, более значимые факторы, по которым проводится классификация, находятся на более близком расстоянии (глубине) от корня дерева, чем менее значимые. Например фактор ‘Обеспеченность займа’ более значим, чем фактор ‘Срок проживания в данной местности’. А фактор ‘Основное направление расходов’ значим только в сочетании с другими факторами.

2. Такие показатели как ‘Размер ссуды’, ‘Срок ссуды’, ‘Среднемесячный доход’ и ‘Среднемесячный расход’ вообще отсутствуют в полученном дереве. Данный факт можно объяснить тем, что в исходных данных присутствует такой показатель как ‘Обеспеченность займа’, и так как этот фактор является точным обобщением этих четырех показателей, алгоритм построения дерева решений выбрал именно его.

Очень важной особенностью построенной модели является то, что правила, по которым определяется принадлежность заемщика к той или иной группе, записаны на естественном языке. Например на основе построенной модели получаются правила следующего вида:

ЕСЛИ Обеспеченность займа = Да И Срок проживания в данной местности, лет > 5.5 И Возраст > 19.5 И Наличие недвижимости = Да И Наличие банковского счета = Да ТО Предоставлять кредит = Да (Достоверно на 98%).

ЕСЛИ Обеспеченность займа = Да И Срок проживания в данной местности, лет > 5.5 И Наличие недвижимости = Да И Возраст > 21.5 И Срок работы на данном направлении, лет <= 5.5 И Пол = Муж И Наличие банковского счета = Нет И Основное направление расходов = Одежда, продукты питания и т.п. ТО Предоставлять кредит = Нет (Достоверно на 88%).

Правильно построенное на данных прошлых периодов дерево решения обладает важной особенностью — ‘способностью к обобщению’, то есть при возникновении новой ситуации (обращение потенциального заемщика) можно с большой вероятностью утверждать, что вновь обратившийся

заемщик поведет себя так же, как и те заемщики, характеристики которых схожи с характеристиками вновь обратившегося.

На основе построенной модели также можно определять принадлежность потенциального заемщика к одному из классов. Для этого необходимо воспользоваться диалоговым окном ‘Эксперимент’ программы Tree Analyzer, в котором, последовательно отвечая на вопросы, можно в итоге получить ответ на вопрос:

‘Предоставлять ли кредит’.

На основе приведенного примера можно сделать вывод о достоинствах метода деревьев решений (устраняющих принципиальные недостатки скоринговой системы):

1. Стоимость адаптации сводится к минимуму по причине того, что алгоритмы построения модели классификации (дерево решений) – это самоадаптирующиеся модели (вмешательство человека минимально)

2. Качество результата достаточно велико за счет того, что выбираются наиболее значимые факторы для определения конечного ответа, и полученный результат является статистически обоснованным.

## Выводы

В статье сформулированы основные задачи поиска знаний в базах данных для оценки финансовых рисков, связанных с оплатой за обучение в ВУЗе. Приведены возможные методы решения указанных задач, основанные на применении технологии Data Mining.

**Список литературы:** 1. Бюджетирование, финансовое планирование и анализ, управленческий учет. – [Электрон. ресурс]. Метод доступа: [http://www.cis2000.ru/pub-Ksh/books/boolc\\_71/page21.shtml](http://www.cis2000.ru/pub-Ksh/books/boolc_71/page21.shtml). 2. Data Mining – добыча данных. [Электрон, ресурс]. – Метод доступа: <http://www.basegroup.ru/tasks/datamining.htm>. 4. Введение в анализ ассоциативных правил – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа: <http://www.basegroup.ru/rulcs/intro.htm>. 5. Нейронные сети – математический аппарат. – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа: <http://www.basegroup.ru/neural/math.htm>. 6. Нейронные сети как средство добычи данных – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа <http://www.basegroup.ru/neural/ns.htm>. 7. Использование деревьев решений для оценки кредитоспособности физических лиц – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа <http://www.basegroup.ru/practice/solvency.htm>. 8. Самоорганизующиеся карты – математический аппарат – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа: <http://www.basegroup.ru/neural/som.htm>. 9. Пастухов Е.С., Кутьин В.М. Методика оценки изменений в банковской среде на основе технологии самоорганизующихся карт признаков – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа <http://www.bankclub.ru/seminar-article.htm>. 10. Торнтуэйт У. Как начать внедрение технологии data mining, не теряя ее ценных возможностей – [Электрон. ресурс]. – Метод доступа: <http://citcity.ru/12996>.

Поступила в редколлегию 12.10.2007



УДК 519.7



## О МЕТОДЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

И.Д. Вечирская

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ira\_se@list.ru

В статье сформулировано и доказано утверждение об общем виде  $k$ -ичных линейных логических преобразований. Приведен анализ вычисления линейных логических преобразований. Исследован метод вычисления в зависимости от способа задания области определения.

ЛИНЕЙНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ОБЛАСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРАВИЛА ВЫЧИСЛЕНИЯ, ЯДРО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

### Введение

Формализация языкового феномена [1] на сегодняшний день является одним из наиболее перспективных направлений научных исследований. Одним из эффективных способов реализации естественно языковых структур является представление с помощью логических сетей, направленных на широкое распараллеливание знаний при обработке [2, 3]. Следует отметить, что логическая сеть как средство реализации отношений любой природы и сами принципы ее построения и работы могут быть применены не только для представления фрагментов естественного языка. И такие разработки ведутся: на сегодняшний день с помощью логической сети уже представлены операции сложения и умножения для двоичных чисел. Кроме этого, с помощью метода, который дает нам критерий окончания работы логической сети, была решена задача гипотетически связанных абонентов автоматизированной системы комплексных расчетов интегральной информационной системы предприятия электросвязи [4]. Логическая сеть также применялась для разработки компьютерного комплекса для автоматизированной работы по проектированию оборудования и автоматизированного управления фирмой [5]. Однако хотя логическая сеть и показала себя как эффективное средство реализации отношений, на сегодняшнем этапе много факторов в работе логических сетей еще до конца не изучено и теоретически не обосновано. Таким образом, целью данной статьи является развитие теории линейных логических преобразований как основного средства реализации логических сетей.

### 1. Основные понятия теории линейных логических преобразований

Логическим преобразованием, отображающим пространство  $L_m$  размерности  $m$  в пространство  $L'_n$  размерности  $n$ , называется любая функция  $F: L_m \rightarrow L'_n$ . Линейным логическим преобразованием [6] называется любое логическое преобразование, обладающее свойствами:

- 1) аддитивности —  $F(x \vee y) = F(x) \vee F(y)$ ;
- 2) однородности —  $F(\alpha x) = \alpha F(x)$ .

Утверждение об общем виде линейного логического преобразования. Пусть  $x \in L_m$ ,  $y \in L'_n$ ,  $x = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$ ,  $y = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$ ,  $L_m$  и  $L'_n$  — логические пространства. Тогда любое линейное логическое преобразование можно представить в виде:

$$\eta(j) = \exists i \in A \alpha(i, j) \xi(i),$$

где  $A = \{1, 2, \dots, m\}$ ;  $B = \{1, 2, \dots, n\}$ ;  $i \in A$ ,  $j \in B$ .

Введем далее понятие логической матрицы [6]. Линейное логическое преобразование определяется предикатом  $\alpha(i, j)$  на  $A \times B$ , то есть матрицей размером  $m \times n$ , составленной из единиц и нулей. Такая матрица называется логической:

$$\|\alpha_{ij}\| = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix}.$$

По аналогии с линейной алгеброй введем понятие симметричной и транспонированной матрицы. Матрицу

$$\|\alpha_{ji}\|' = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{21} & \dots & \alpha_{m1} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{1n} & \alpha_{2n} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix},$$

получающуюся из  $\|\alpha_{ij}\|$  заменой строк столбцами, назовем транспонированной по отношению к матрице  $\|\alpha_{ij}\|$ .

Матрицу  $\|\alpha_{ij}\|$  назовем симметрической, если ее соответствующие элементы (расположенные симметрично) относительно главной диагонали совпадают, то есть  $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ .

Суперпозиция линейных логических преобразований  $F_1(F_2(x))$  описывается произведением логических матриц:

$$\|\alpha_{ij}\| \times \|\beta_{jk}\| = \left\| \bigvee_{j \in B} \alpha_{ij} \beta_{jk} \right\| = \|\gamma_{ik}\|,$$

где  $i \in A$ ,  $j \in B$ ,  $k \in C$ .

$F_1$  характеризуется матрицей  $\|\alpha_{ij}\|$ ,  $F_2$  —  $\|\beta_{jk}\|$ ,  $F_1 F_2 = \|\gamma_{ik}\|$ .

## 2. Утверждение об общем виде линейных логических преобразований на случай $k$ переменных

В статье [4] приведено и доказано утверждение об общем виде линейных логических преобразований на случай трех переменных. Рассмотрим обобщение этого утверждения на случай  $k$  переменных.

Обобщение утверждения об общем виде линейного логического преобразования на случай  $k$  переменных. Для того, чтобы функция

$$F: L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} \rightarrow P_{I_{A_I}},$$

где  $L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} = (P_{n_1} \times P_{n_2} \times \dots \times P_{n_k})_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}}$ , была линейным логическим преобразованием, необходимо и достаточно, чтобы она имела вид:

$$[F(L)](x_I) = \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) \wedge \right. \\ \left. \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_k}(x_{n_k}) \right) \quad (1)$$

для любого  $x_I \in A_I$ , где  $K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I)$  задан на  $A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k} \times A_I$ ,  $S = A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}$ .

**Доказательство.**

*Достаточность.* Пусть условие (1) выполнено.

Тогда для любых  $L, L_1, L_2 \in L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}}$  и любого  $\alpha \in \{0,1\}$  имеем

$$[F(L_1 \vee L_2)](x_I) = \left| \begin{array}{l} L(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) = \\ = P_{n_1}(x_{n_1}) \wedge P_{n_2}(x_{n_2}) \wedge \dots \wedge P_{n_k}(x_{n_k}) \end{array} \right| = \\ = \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) \left( (L_1(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})) \vee \right. \right. \\ \left. \left. \vee L_2(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) \right) \right) = \\ \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) L_1(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) \right) \vee \\ \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) \wedge \right. \\ \left. \wedge L_2(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) \right) = [F(L_1)](x_I) \vee [F(L_2)](x_I)$$

для всех  $x_I \in A_I$ . Аддитивность доказана. Теперь докажем однородность.

$$[F(\alpha L)](x_I) = \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) \wedge \right. \\ \left. \wedge \alpha L(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) \right) = \alpha \wedge \\ \bigwedge_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in S} \left( K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) \wedge \right. \\ \left. \wedge L(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) \right) = \alpha [F(L)](x_I).$$

*Необходимость.* Пусть для всех

$$L, L_1, L_2 \in L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} \quad \text{и} \quad \alpha \in \{0,1\}$$

выполнено  $F(L_1 \vee L_2) = F(L_1) \vee F(L_2)$ ,  $F(\alpha L) = \alpha F(L)$ .

Для любого  $L \in L_{A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}}$  имеем

$$L(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}) = P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_k}(x_{n_k}) = \\ = \left( \bigvee_{\alpha_{n_1} \in A_{n_1}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) x_{n_1}^{\alpha_{n_1}} \right) \right) \left( \bigvee_{\alpha_{n_2} \in A_{n_2}} \left( P_{n_2}(\alpha_{n_2}) x_{n_2}^{\alpha_{n_2}} \right) \right) \wedge \\ \wedge \dots \wedge \left( \bigvee_{\alpha_{n_k} \in A_{n_k}} \left( P_{n_k}(\alpha_{n_k}) x_{n_k}^{\alpha_{n_k}} \right) \right) = \\ = \left( \bigvee_{\alpha_{n_1} \in A_{n_1}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) \varepsilon_{\alpha_{n_1}}(x_{n_1}) \right) \right) \left( \bigvee_{\alpha_{n_2} \in A_{n_2}} \left( P_{n_2}(\alpha_{n_2}) \varepsilon_{\alpha_{n_2}}(x_{n_2}) \right) \right) \wedge \\ \wedge \dots \wedge \left( \bigvee_{\alpha_{n_k} \in A_{n_k}} \left( P_{n_k}(\alpha_{n_k}) \varepsilon_{\alpha_{n_k}}(x_{n_k}) \right) \right)$$

при всех  $x_{n_1} \in A_{n_1}, x_{n_2} \in A_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in A_{n_k}$ , где

$$\varepsilon_{\alpha_{n_1}}(x_{n_1}) = x_{n_1}^{\alpha_{n_1}}, \varepsilon_{\alpha_{n_2}}(x_{n_2}) = x_{n_2}^{\alpha_{n_2}}, \dots, \varepsilon_{\alpha_{n_k}}(x_{n_k}) = x_{n_k}^{\alpha_{n_k}}.$$

Тогда

$$[F(L)](x_I) = \left[ F \left( \left( \bigvee_{\alpha_{n_1} \in A_{n_1}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) \varepsilon_{\alpha_{n_1}}(x_{n_1}) \right) \right) \wedge \right. \right. \\ \left. \left. \wedge \left( \bigvee_{\alpha_{n_2} \in A_{n_2}} \left( P_{n_2}(\alpha_{n_2}) \varepsilon_{\alpha_{n_2}}(x_{n_2}) \right) \right) \right) \wedge \dots \wedge \right. \\ \left. \left. \wedge \left( \bigvee_{\alpha_{n_k} \in A_{n_k}} \left( P_{n_k}(\alpha_{n_k}) \varepsilon_{\alpha_{n_k}}(x_{n_k}) \right) \right) \right) \right] (x_I) = \\ = \bigvee_{\alpha_{n_1} \in A_{n_1}} \bigvee_{\alpha_{n_2} \in A_{n_2}} \dots \bigvee_{\alpha_{n_k} \in A_{n_k}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) P_{n_2}(\alpha_{n_2}) \dots P_{n_k}(\alpha_{n_k}) \right) = \\ \bigvee_{\alpha_{n_1}, \alpha_{n_2}, \dots, \alpha_{n_k} \in A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) P_{n_2}(\alpha_{n_2}) \dots P_{n_k}(\alpha_{n_k}) \right) = \\ \bigvee_{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}} \left( P_{n_1}(\alpha_{n_1}) P_{n_2}(\alpha_{n_2}) \dots P_{n_k}(\alpha_{n_k}) \right),$$

где положено

$$K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}, x_I) = \left[ F \left( \varepsilon_{x_{n_1}} \varepsilon_{x_{n_2}} \dots \varepsilon_{x_{n_k}} \right) \right] (x_I)$$

для всех  $x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in A_{n_1} \times A_{n_2} \times \dots \times A_{n_k}$ ,  $x_I \in A_I$ . Утверждение доказано.

## 3. Метод вычисления линейных логических преобразований в зависимости от способа задания области определения

В статье [7] уже были исследованы правила вычисления линейных логических преобразований на случай трех переменных при следующих заданиях области определения ядра линейного логического преобразования:

1) когда все переменные  $x_1, x_2, x_3$  заданы на одном множестве;

2) когда исследуется преобразование из области, задаваемой функцией  $F(x_1, x_2)$ , в  $x_3$ ;

3) когда каждая из заданных переменных искомого преобразования задается своей функцией.

Теперь обобщим эти правила на случай  $k$  переменных.

Представим вычисления линейного логического преобразования из  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_I$  следующей формулой:

$$[F(L)](x_l) = \exists x_{n_1} \in A_{n_1} \dots \exists x_{n_{k-1}} \in A_{n_{k-1}} \exists x_{n_k} \in A_{n_k} \\ (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1})) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}),$$

где  $A_{n_1} = A_{n_2} = \dots = A_{n_{k-1}} = A_{n_k} = U$ .

В этом случае для вычисления достаточно лишь выполнить операцию переброски кванторов через предикат, не зависящий от переменной, стоящей под знаком квантора.

$$[F(L)](x_l) = \exists x_{n_k} \in A_{n_k} (P_{n_k}(x_{n_k}) (\exists x_{n_{k-1}} \in A_{n_{k-1}} (P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \dots \\ (\exists x_{n_1} \in A_{n_1} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1}))))),$$

где

$$A_{n_1} = A_{n_2} = \dots = A_{n_{k-1}} = A_{n_k} = U.$$

Мы рассмотрели простой случай, где все переменные преобразования определены на универсуме. При другом задании области определения изменится и сам метод вычисления. Далее представим правило вычисления линейного логического преобразования из  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_l$ , где заданная область определения задается в виде  $x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k} \in F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  следующей формулой:

$$[F'(L)](x_l) = \\ = \bigvee_{\substack{x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k} \in \\ \in F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})}} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) \wedge \\ \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}).$$

Проведем элементарные преобразования, используя основные правила алгебры логики, и получим правила вычисления в следующем виде:

$$[F'(L)](x_l) = \\ = \exists x_{n_1} \in U \exists x_{n_2} \in U \dots \exists x_{n_{k-1}} \in U \exists x_{n_k} \in U \\ (F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) \wedge \\ \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \wedge \dots \wedge P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}))) = \\ = \exists x_{n_k} \in U (P_{n_k}(x_{n_k}) (\exists x_{n_{k-1}} \in U (P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \wedge \dots \wedge \\ \wedge (\exists x_{n_1} \in U (F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \wedge \\ K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}, x_l) P_{n_1}(x_{n_1})))))).$$

Интерес представляет также случай, когда каждая из заданных переменных определяется своей функцией

$$x_{n_1} \in F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}); \\ x_{n_2} \in F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}); \\ \dots \\ x_{n_{k-1}} \in F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}); \\ x_{n_k} \in F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k}).$$

В этом случае получим линейное логическое преобразование следующего вида:

$$[F''(L)](x_l) = \\ = \bigvee_{\substack{x_{n_1} \in F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ x_{n_2} \in F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ \dots \\ x_{n_{k-1}} \in F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \\ x_{n_k} \in F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})}} K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \wedge \\ \wedge P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) P_{n_k}(x_{n_k}).$$

Произведя элементарные преобразования, получим формулу для вычисления следующего вида:

$$[F''(L)](x_l) = \\ = (\exists x_{n_k} \in U F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee \\ \vee \exists x_{n_{k-1}} \in U F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})) \wedge \\ \wedge (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) P_{n_1}(x_{n_1}) P_{n_2}(x_{n_2}) \dots \wedge \\ \wedge P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \wedge P_{n_k}(x_{n_k}) = \exists x_{n_k} \in U (P_{n_k}(x_{n_k}) \wedge \\ \wedge (\exists x_{n_{k-1}} \in U (P_{n_{k-1}}(x_{n_{k-1}}) \dots \\ \dots (\exists x_{n_1} \in U (K(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \wedge \\ \wedge (F_{n_1}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee F_{n_2}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee \\ \vee \dots \vee F_{n_{k-1}}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k}) \vee \\ \wedge F_{n_k}(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_{k-1}}, x_{n_k})))))).$$

#### 4. Перспективы применения метода вычисления линейных логических преобразований в логических сетях

Построение различных информационных систем, направленных на повышение производительности ЭВМ, является актуальным вопросом, требующим тщательного изучения. Часто такие исследования связаны с параллельной обработкой данных. В Харьковском национальном университете радиоэлектроники на кафедре автоматизации проектирования вычислительной техники была реализована логическая сеть в виде аппаратной схемы системы на кристалле (System-on-chip) [8].

Логические сети, как правило, основываются на бинаризации исходного отношения. То есть реализованные в настоящее время логические сети предполагают предварительную бинаризацию [3], что собственно и обеспечивает параллельность и, как следствие, быстродействие в обработке. Однако изучение морфологического материала [9, 10], необходимое для разработки математической модели логической сети, приводит к выводам о том, что бинаризация не всегда целесообразна. Существует ряд

задач, при решении которых наряду с бинарными связями необходимо также вводить и  $k$ -ичные, так как введение дополнительных переменных слишком усложняет задачу аппаратно либо же сеть становится трудной для понимания и, как следствие, требует специфического обслуживания. Кроме этого, в перспективах применения самих логических сетей целесообразно учесть возможным и другую аппаратную реализацию, где сложность вычислений может определяться другими параметрами. Таким образом, исследование  $k$ -ичных линейных логических преобразований является в настоящее время перспективной задачей.

### Выводы

В статье были исследованы линейные логические преобразования из  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_l$ , задающиеся на областях определения различного вида (когда все переменные заданы на одном множестве; когда исследуется преобразование из области, задаваемой функцией  $F(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$ , в  $x_l$ ; когда каждая из заданных переменных искомого преобразования задается своей функцией). Приведено и доказано утверждение об общем виде линейных логических преобразований из  $(x_{n_1}, x_{n_2}, \dots, x_{n_k})$  в  $x_l$ , определен метод вычисления для различных способов задания области определения и обозначены перспективы дальнейших исследований.

**Список литературы:** 1. Широков В.А. Очерк основных принципов квантовой лингвистики // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал – Харьков, ХНУРЭ, 2007. – № 1(66) – С. 25-32. 2. Бондаренко М.Ф., Дударь З.В., Ефимова И.А., Лецинский В.А., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. О мозгоподобных ЭВМ // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. №4. – С. 83-99. 3. Лецинский В.А. Модели бинарных логических сетей и их применение в искусственном интеллекте: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.23. – Харьков, 2007 – 159 с. 4. Вечирская И.Д., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. О методе нахождения  $n$ -ого линейного логического преобразования // Искусственный интеллект. – Донецк: Институт проблем искусственного интеллекта. – 2007. – № 3. – С. 382-389. 5. Козяев Л.Л. Методы формализации и модели морфологических структур и их применения в системах искусственного интеллекта: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.23. – Харьков, 2007 – 150 с. 6. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. О линейных предикатах // Проблемы бионики: – Харьков, Выща школа. – 1989. – Вып. 43. – С. 3-7. 7. Вечирская И.Д., Иванюлов А.А. О вычислениях линейных логических преобразований // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 18 – С. 29-32. 8. Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Хаханов В.И., Процай Н.Т., Вечирская И.Д., Лецинский В.А., Иванюлов А.А., Обризан В.И. Логическая сеть как технология моделирования естественного языка // Сб. науч. тр. «Информационные технологии – в науку и образование». Харьков. 21-22 марта 2005 г. – С. 30-33. 9. Дударь З.В., Иванюлов А.А., Климушев В.В., Обризан В.И. Логическая сеть для модели глагольной флексии русского языка // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2006. – 4/2. – С. 80-89. 10. Бондаренко М.Ф., Чикина В.А., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Модели языка // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2004. № 61/1. – С. 27-37.

Поступила в редколлегию 15.10.2007



УДК 004.8

## КВАНТОВЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ В ЗАДАЧАХ DATA MINING

И.В. Шевченко

НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,  
г. Харьков, Украина, ilona.shevchenko@gmail.com

Приведена постановка задачи интеллектуального анализа данных (Data Mining). Выделены классы методов Data Mining, а также классификация решаемых с их помощью задач. Описаны особенности квантовых моделей и методов представления знаний. Обоснована возможность применения методов инженерии квантов знаний как средств решения задач Data Mining.

DATA MINING, КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, КВАНТОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ  
ЗНАНИЙ

### Введение

Data Mining представляет собой технологию, широко используемую в современном бизнес-анализе и способную при грамотном применении принести предприятию немалую прибыль.

Технология Data Mining – это технология углубленного анализа данных, которая предназначена для выявления в данных неочевидных, объективных и в то же время практически полезных закономерностей.

Data Mining – это комбинация различных подходов (статистики и искусственного интеллекта), которая дает принципиально новые свойства: возможность выявлять неочевидные закономерности.

Целью работы является обоснование возможности применения методов квантовой инженерии знаний при решении задач Data Mining.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) сформулировать особенность технологии Data Mining; 2) дать классификацию задач Data Mining; 3) рассмотреть классификацию методов Data Mining, рассмотреть их достоинства и недостатки; 4) сформулировать достоинства квантовой модели и методов инженерии знаний; 5) рассмотреть классы задач, решаемых с помощью квантовой инженерии знаний; 6) обосновать возможность применения квантовой методологии в решении задач Data Mining.

### 1. Особенности технологии Data Mining

Термин Data Mining получил свое название из двух понятий: поиска ценной информации в большой базе данных (data) и добычи горной руды (mining). Оба процесса требуют или просеивания огромного количества сырого материала, или разумного исследования и поиска искомым ценностей.

Термин Data Mining часто переводится как «добыча», «раскопка», «промывание» данных, «извлечение зерен знаний из гор данных», интеллектуальный анализ данных, средства поиска закономерностей, извлечение (обнаружение) знаний, анализ шабло-

нов, информационная проходка данных [1-4]. Понятие «обнаружение знаний в базах данных» (Knowledge Discovery in Databases, KDD) можно считать синонимом Data Mining. Возникновение всех указанных терминов связано с новым витком в развитии средств и методов обработки данных.

В связи с совершенствованием технологий записи и хранения данных на людей обрушились колоссальные потоки информационной руды в самых различных областях. Деятельность любого предприятия (коммерческого, производственного, медицинского, научного и т.д.) стала сопровождаться регистрацией и записью всех подробностей его деятельности. Встал вопрос, а что делать с этой «свалкой» информации, ведь «сырые» данные могут содержать глубинный пласт знаний (совокупность фактов, закономерностей и эвристических правил, с помощью которых решаются поставленные задачи) и при грамотной его раскопке могут быть обнаружены настоящие самородки знаний. Ответ заключался в необходимости продуктивной переработки потоков «сырых» данных.

Итак, задачу анализа данных можно сформулировать так. Дана упорядоченная совокупность данных, представленная, например, в виде хранилища данных, требуется внутри этих данных найти скрытые закономерности, то есть сформулировать новые знания.

Однако методы математической статистики, базирующиеся на концепции усреднения по выборке, приводят к операциям над фиктивными величинами и оказались эффективными только для проверки заранее сформулированных гипотез и для «грубого» разведочного анализа [3, 4].

В основу современной технологии Data Mining положена концепция шаблонов, отражающих фрагменты многоаспектных взаимоотношений в данных. Шаблоны представляют собой закономерности, свойственные подвыборкам данных, которые могут быть компактно выражены в понятной человеку форме.

Информация, найденная в процессе применения методов Data Mining, должна быть нетривиальной и ранее неизвестной, например, средние продажи не являются таковыми. Знания должны описывать новые связи между свойствами, предсказывать значения одних признаков на основе других и т.д. Найденные знания должны быть применимы и на новых данных с некоторой степенью достоверности. Полезность заключается в том, что эти знания могут приносить определенную выгоду при их применении.

Важное положение Data Mining – нетривиальность разыскиваемых шаблонов, то есть найденные шаблоны должны отражать неочевидные, неожиданные закономерности в данных, составляющие так называемые скрытые знания.

Выделяют пять стандартных типов закономерностей, которые позволяют выявлять методы Data Mining: ассоциация, последовательность, классификация, кластеризация, прогнозирование [1-4].

При поиске ассоциативных правил отыскиваются закономерности между связанными событиями в наборе данных. Задача отыскания последовательности отличается тем, что устанавливаются закономерности между событиями, связанными во времени. В задаче классификации обнаруживаются признаки, которые характеризуют группы (классы) объектов исследуемого набора данных; по этим признакам можно отнести новый объект к тому или иному классу. Особенность кластеризации заключается в том, что классы объектов изначально не известны. В задаче прогнозирования на основе исторических данных оцениваются пропущенные или будущие значения целевых показателей.

Применение Data Mining оправданно при наличии достаточно большого количества данных, в идеале – содержащихся в корректно спроектированном хранилище данных (собственно, сами хранилища данных обычно создаются для решения задач анализа и прогнозирования, связанных с поддержкой принятия решений).

Data Mining является развитием нескольких научных направлений: классической статистики, искусственного интеллекта и машинного обучения. Сейчас Data Mining – это множество как классических, так и современных математических и статистических методов, которые развивались в этих направлениях.

Различают две группы методов Data Mining: статистические и кибернетические.

*Статистические* методы включают:

- дескриптивный анализ и описание исходных данных;
- анализ связей (корреляционный, регрессионный, факторный и дисперсионный анализы);

- многомерный статистический анализ (компонентный анализ, дискриминантный анализ, многомерный регрессионный анализ, канонические корреляции и др.);

- анализ временных рядов (динамические модели и прогнозирование).

*Кибернетические* методы включают:

- нейронные сети;
- эволюционное программирование;
- генетические алгоритмы;
- ассоциативная память;
- нечеткая логика;
- деревья решений.

Обратим свое внимание именно на деревья решений, которые являются одним из наиболее популярных подходов к решению задач Data Mining. Они создают иерархическую структуру классифицирующих правил типа “ЕСЛИ ... ТО ...”, имеющую вид дерева. Популярность подхода связана как бы с наглядностью и понятностью. Но деревья решений принципиально не способны находить “лучшие” (наиболее полные и точные) правила в данных. Они реализуют наивный принцип последовательного просмотра признаков и “цепляют” фактически осколки настоящих закономерностей, создавая лишь иллюзию логического вывода. Вместе с тем, большинство коммерческих систем Data Mining используют именно этот метод.

Рассмотрим более подробно наиболее популярные задачи Data Mining.

*Классификация* является наиболее простой и одновременно наиболее часто решаемой задачей Data Mining. Задачей классификации является определение закономерностей, позволяющих делать вывод относительно определения характеристик конкретной группы объектов.

Для проведения классификации с помощью математических методов необходимо иметь формальное описание объекта, которым можно оперировать, используя математический аппарат классификации. Таким описанием может выступать база данных. Каждый объект несет информацию о некотором свойстве объекта.

Набор исходных данных (или выборку данных) разбивают на два множества: обучающее и тестовое. Обучающее множество – множество, которое включает данные, используемые для обучения (конструирования) модели. Такое множество содержит входные и выходные (целевые) значения примеров. Выходные значения предназначены для обучения модели. Тестовое множество также содержит входные и выходные значения примеров. Однако здесь выходные значения используются для проверки работоспособности построенной классификационной модели.

*Прогнозирование* направлено на определение тенденций динамики конкретного объекта или события на основе ретроспективных данных, то есть анализа его состояния в прошлом и настоящем. Таким образом, решение задачи прогнозирования также требует некоторой обучающей выборки данных.

Прогнозирование – установление функциональной зависимости между зависимыми и независимыми переменными.

Прогнозирование является распространенной и востребованной задачей во многих областях человеческой деятельности. В результате прогнозирования уменьшается риск принятия неверных, необоснованных или субъективных решений.

Различие задач классификации и прогнозирования состоит в том, что в первой задаче предсказывается класс зависимой переменной, а во второй – числовые значения зависимой переменной, пропущенные или неизвестные (относящиеся к будущему).

## 2. Особенности квантовой инженерии знаний

Квантовый метод инженерии знаний (метод алгоритмических квантов знаний – РАКЗ-метод) [5-7], предложенный проф. Сироджей И.Б. и развитый в работах его учеников [8-10], обладает рядом преимуществ по сравнению с известными ориентированными на знания методами принятия решений:

- РАКЗ-метод представляет собой индуктивный метод представления и вывода знаний с целью моделирования процесса принятия решений;

- РАКЗ-метод обеспечивает строгую формализацию порций знаний как содержательных алгоритмических структур данных (квантов), машинное манипулирование ими средствами алгебр конечных предикатов и векторно-матричных операторов;

- важным преимуществом РАКЗ-метода является обеспечение экстраполяционных свойств квантовых моделей принятия решений на основе принципа внешнего дополнения, что позволяет решить центральную проблему всех индуктивных методов, состоящую в адекватном соотношении сложности модели с объемом обучающей выборки.

В данном методе база квантов знаний ( $k$ -знаний) строится по обучающей выборке – таблице эмпирических данных (ТЭД) – и представляет собой совокупность импликативных и функциональных закономерностей. При этом база квантов знаний (БкЗ) является одновременно и механизмом принятия идентификационных (классификационных), а также прогнозных решений.

Рассмотрим, что понимается под закономерностью в квантовом методе инженерии знаний.

Устойчивая связь между  $r$  характеристиками объекта принятия решений (ОПР) из общего числа  $n$  ( $r \leq n$ ), выражающая недопустимость хотя бы одной комбинации их значений на множестве  $k$ -знаний, называется импликативной закономерностью или запретом  $r$ -го ранга.

Функциональной закономерностью  $r$ -го ранга на множестве  $k$ -знаний называется устойчивая связь между  $r$  ( $r < n$ ) признаками ОПР и некоторым  $(r+1)$ -м признаком, позволяющая по значениям признаков-аргументов, однозначно определить значение признака-функции.

Приведем пример гипотетической обучающей выборки, которая представлена матричным точным ( $t$ -) квантом знаний 2-го уровня  $tk_2\Sigma_{обуч}$ , а каждый объект обучающей выборки (строка в  $tk_2\Sigma_{обуч}$ ) описывается  $t$ -квантом знаний 1-го уровня:

$$tk_2\Sigma_{обуч} = \begin{bmatrix} \overbrace{x_1} & \overbrace{x_2} & \overbrace{x_3} & \overbrace{x_4=x_{11}} \\ 10:010:10:100 \\ 10:100:01:010 \\ 01:001:10:001 \\ 10:001:10:010 \end{bmatrix}.$$

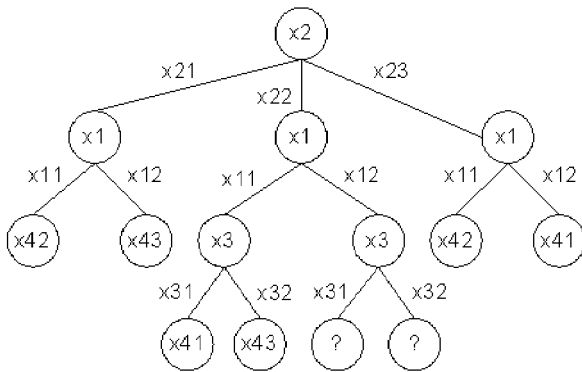
Видим, что ОПР в данной обучающей выборке описывается с помощью 4 признаков. Признак  $x_1$  может принимать 2 значения ( $x_{11}$  и  $x_{12}$ ), признак  $x_2$  – 3 значения ( $x_{21}$ ,  $x_{22}$  и  $x_{23}$ ), признак  $x_3$  – 2 значения ( $x_{31}$  и  $x_{32}$ ). Признак  $x_4$  является целевым ( $x_{11}$ ), то есть признаком, по которому объекты из  $tk_2\Sigma_{обуч}$  относятся к одному из трех классов  $x_{41}$ ,  $x_{42}$  и  $x_{43}$ .

Построим, согласно методу точных квантов знаний, импликативную (запретную) базу  $t$ -квантов знаний, соответствующую приведенной обучающей выборке:

$$tk_2\Sigma_{запр} = \begin{bmatrix} \overbrace{x_1} & \overbrace{x_2} & \overbrace{x_3} & \overbrace{x_4=x_{11}} \\ 01:010:---:--- \\ 01:---:---:010 \\ ---:001:01:--- \\ ---:100:10:--- \\ ---:001:---:100 \\ ---:010:---:010 \\ ---:100:---:001 \\ 10:001:---:001 \\ 10:100:---:100 \\ 01:---:01:001 \\ 01:---:10:100 \\ 10:---:01:100 \\ 10:---:10:001 \\ ---:010:01:100 \\ ---:010:10:001 \end{bmatrix}.$$

Приведем пример семантического значения каждой строки кванта  $tk_2\Sigma_{\text{запр}}$ . Так, например, первая строка запретного кванта знаний читается так: «не существует объекта, который бы имел следующую комбинацию признаков:  $x_1$  принимает значение  $x_{12}$ , а признак  $x_2$  – значение  $x_{22}$ ».

На основе выявленных запретных закономерностей можно построить дерево принятия решений (см. рис.). Главным достоинством деревьев в качестве решающих правил является то, что для вывода решения (определения значения целевого признака, в данном случае  $x_{\text{ц}} = x_4$ ) не требуется знать значения всех признаков ОПР.



Дерево принятия решений

В квантовом методе инженерии знаний задача соотношения сложности квантовой модели объекта принятия решений (ОПР) с объёмом обучающей выборки сведена к обеспечению разработчиков знаниеориентированных систем расчетной методикой для формирования и оценивания обучающей выборки с целью гарантированного индуктивного построения базы квантов знаний как системы закономерностей предметной области требуемого качества. Для этого формулируется индуктивный принцип внешнего дополнения при оценке и поиске имплицитивных/функциональных закономерностей по обучающим  $k$ -знаниям на основе формулировки и доказательства соответствующих теорем [5]. Заметим следующее, чтобы принять или отвергнуть гипотезу, нужно оценить её достоверность, то есть вероятность того, что гипотеза ошибочна. Достоверными принято считать гипотезы, вероятность ошибочности которых настолько мала, что ею можно пренебречь. Таким образом, чем меньше вероятность того, что гипотеза о существовании закономерностей между  $r$  признаками ОПР ошибочна, тем больше вероятность того, что данная связь существует.

Автором в работе [8] приведен вывод уточненных формул для вычисления оценки вероятности гипотезы об отсутствии закономерности между признаками, что позволило повысить адекватность индуктивно синтезируемой базы  $k$ -знаний объему обучающих знаний. Данные формулы используются

для расчета максимального ранга (числа переменных, участвующих в связи) искомым в обучающей выборке закономерностей, путем задания порогового значения для оценки вероятности отсутствия закономерностей между признаками.

В РАКЗ-методе, для того чтобы принять классификационные решения по обучающей выборке, необходимо синтезировать классификационную БкЗ, тогда как при необходимости принимать прогнозные решения – прогнозную БкЗ.

## Выводы

В статье были рассмотрены задачи интеллектуального анализа данных, среди которых особое внимание было уделено задаче классификации и прогнозирования. Также был рассмотрен квантовый метод инженерии знаний, особенность которого заключается в формализации знаний порциями (квантами). В методе квантов знаний база знаний строится как совокупность найденных в обучающей выборке имплицитивных и функциональных закономерностей. По синтезированной базе квантов знаний могут быть приняты классификационные и прогнозные решения. Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования моделей и методов инженерии квантов знаний для эффективного решения задач Data Mining.

**Список литературы:** 1. Дюк В.А., Самойленко А.П. Data Mining: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с. 2. Киселев М., Соломатин Е. Средства добычи знаний в бизнесе и финансах // Открытые системы. – 1997. – №4. – С. 41–44. 3. Чубуков И.А. Data Mining. Учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; Бинوم. Лаборатория знаний, 2006. – 382 с. 4. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / Барсеян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с. 5. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 427 с. 6. Сироджа И.Б. Петренко Т.Ю. Метод разноразмерных алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечёткости данных. – К.: Наук. думка, 2000. – 247 с. 7. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С. 161–171. 8. Варфоломеева И.В. Развитие принципа внешнего дополнения РАКЗ-моделей знаниеориентированного принятия решений // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2004. – Вып. 60. – С. 48–57. 9. Варфоломеева И.В. Проблема информативности системы признаков при построении идентификационной квантовой базы знаний // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т «ХАИ», 2004. – Вып. 24. – С. 299 – 304. 10. Варфоломеева И.В. Квантовый метод принятия решений на основе запретной логической сети // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – №4. – С. 93–99.

Поступила в редколлегию 16.10.2007



УДК 004.93'1



## АНАЛИЗ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

А.М. Луганский<sup>1</sup>, С.В. Машталир<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУВД, г. Харьков, Украина, alex@adm.univd.kharkov.ua;<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mashtalir\_s@kture.kharkov.ua

Классификация текстов используется для обработки информационных сообщений, для поиска необходимой информации в больших объемах текстов, например, в сети Internet. Рассматривается ряд весовых коэффициентов и проводится анализ классификации множества документов в зависимости от вида запроса и использования различных весовых коэффициентов и их комбинаций.

### КЛАССИФИКАЦИЯ, ВЕСОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ, ИНДЕКСАЦИЯ

#### Введение

Развитие информационных и компьютерных технологий приводит к существенному изменению характера деятельности человека, повышению эффективности и производительности труда в различных областях. Машинная обработка данных облегчает процесс сбора и структурирования информации, позволяет быстрый доступ к ней. Таким образом, все большую роль играют информационно-поисковые системы [1-3].

Основной задачей таких систем является возможность адекватного поиска запрошенных данных за наиболее короткие промежутки времени. В связи с этим возникает целый ряд частных задач, таких как формирование корректного запроса, выделение информативной составляющей, алгоритмы быстрого поиска и т.д. [2, 4, 5]. Вместе с тем важное значение, в частности для библиотечных систем, имеют задачи классификации и систематизации документов [6-11].

Цель классификации текстов — разделение документов на фиксированное число предопределенных категорий, или классов. Каждый документ может попасть во множество категорий, только в одну, либо вообще ни в одну из категорий. Целью использования автоматического обучения является обучение классификаторов на примерах, которые соответствуют данным категориям [7, 10, 11].

Задачу классификации текстов можно интерпретировать по-разному. С математической точки зрения — это задача распознавания образов в алгебраической постановке, а значит, для её решения можно использовать те же принципы, что и для моделирования поведения живых организмов, оценки технологических процессов, распознавания графических объектов и пр. При таком подходе для каждого объекта выделяются векторы признаков. В случае текстов признаками являются слова и взаимосвязанные наборы слов, содержащиеся в тексте [12-14]. В результате обучения информация о соответствии признаков классам текстов сводится

в информационную матрицу. Каждый элемент информационной матрицы определяет вес признака при принятии решения о принадлежности признака к данному классу.

Для оценки качества работы поисковой системы применяются два различных типа оценок, основанных на анализе поиска и результатов работы системы. При поиске документов, соответствующих некоторому запросу в поисковой системе, или при классификации документов в рубрицирующей системе (при вынесении решения о соответствии или несоответствии некоторому классу документов) часто используют подход, основанный на весовых коэффициентах [14-16]. Этот этап часто носит название индексации и предназначен для построения классификатора и процесса его обучения. На втором же этапе оценки результата поиска используют метрики [10, 12]. Цель работы — анализ возможностей использования весовых коэффициентов для построения систем классификации текстовых данных.

#### 1. Постановка задачи

Пусть имеется некоторое множество документов, для которого необходимо провести классификацию. Существует некоторая система запросов, предоставляемых пользователем для получения информации о правилах классификации. Задача заключается в оценке качества полученной в результате проведения запросов информации, а именно — ее соответствия ожиданиям пользователя в плане точности и полноты.

#### 2. Индексация документов с использованием весовых коэффициентов

Использование весовых коэффициентов подразумевает под собой проведение индексации множества документов. При индексации был проведен анализ на множестве документов (100 различных научных статей и книг). Мы использовали метод классификации, называемый ранжированием, то есть множество значений для целевой функции лежит на отрезке [0, 1], и каждый документ с не-

которой долей вероятности относится к тому или иному классу, то есть документ может принадлежать сразу нескольким классам (в отличие от бинарной классификации, в которой есть только два непересекающихся множества). На этапе отнесения документа к классу был использован метод ближайших категорий, то есть документ относится к той категории, к которой он принадлежит с большей степенью вероятности. Это позволяет автоматизировать процесс, в отличие от метода пропорциональности (метод относит документ в разные классы пропорционально степеням вероятности принадлежности документа классу), где может понадобиться частое вмешательство оператора. В методе же ближайших категорий при правильном построении классификатора вмешательство оператора может понадобиться только на этапе обучения.

На первом этапе мы использовали стандартный подход — весовые коэффициенты. В качестве весовых коэффициентов использовались следующие:

$\alpha_{12}$  — коэффициент Луна

$$w_{i,j} = tf_{i,j}$$

( $tf$  (term frequency) — частота встречаемости слова в конкретном документе), где  $tf_{i,j}$  — количество раз, когда термин  $i$  соответствует документу  $j$ ;

$\alpha_{13}$  — TFIDF

$$w_{i,j} = tf_{i,j} \times \ln \frac{J}{df_i}$$

(TFIDF (IDF = inversed document frequency: насколько редко встречается термин во всех документах) — поиск термина в книге с учетом его встречаемости в книгах коллекции), где  $J$  — общее количество документов в коллекции;  $df_i$  — количество документов, в которых встречается  $i$  термин;

$\alpha_{14}$  — нормализованный TFIDF

$$w_{i,j} = \frac{tf_{i,j}}{ndl_j} \ln \frac{J}{df_i},$$

где  $ndl_j = avdl / dl_j$ ;  $avdl$  — средняя длина документа;  $dl_j$  — длина  $j$  документа, то есть обрабатываемого документа. Нормализация состоит в том, чтобы сумма квадратов всех весов в нем была равна 1;

$\alpha_{15}$  — DTWLM (также носит название LM). Весовой коэффициент, получивший наибольшее применение в статистической модели и выражающийся формулой:

$$w_{i,j} = \frac{tf_{ij}}{dl_j};$$

$\alpha_{16}$  — INQUERY (учет запроса): система INQUERY (предложенная Callan et al. 1992, Allan et al. 1998) базируется на сходстве сетевых документов с терминами, по которым производится

индексация, и содержанием запроса (терминами, содержащимися в нем). Таким образом, вероятность соответствия вычисляется по формуле:

$$w_{i,j} = 0,4 + 0,6 \cdot \frac{tf_{ij}}{tf_{ij} + 0,5 + 1,5 \cdot \frac{dl_j}{avdl}} \cdot \frac{\ln \frac{J+0,5}{df_i}}{\ln(J+1)};$$

$\alpha_{17}$  — метод обратного соответствия (IDF — подсчет количества книг в коллекции, в которых встречается термин) заключается в том, что термины, которые встречаются в очень малом количестве документов, приобретают дополнительный вес (Предложен Спарксом):

$$w_{i,j} = idf_{i,j} = \ln \frac{J}{df_i};$$

$\alpha_{18}$  — BM25, выражающийся в виде:

$$w_{i,j} = \frac{(k_1 + 1) \cdot tf_{i,j}}{K + tf_{i,j}} \cdot \ln \frac{J - df_i + 0,5}{df_i + 0,5} \cdot (k_2 + 1) \cdot \frac{qtf_i}{k_2 + qtf_i},$$

где  $qtf_i$  — количество термина  $i$  в запросах;  $k_1, k_2$  — const соответственно равные 2, 5;

$$K = 2 \cdot ((1 - b) + b \cdot \frac{dl_j}{avdl}), \quad b = 0,75;$$

$\alpha_{19}$  — T-INQUERY, вариация  $\alpha_{16}$ , выражающаяся в виде:

$$w_{i,j} = \frac{df_i}{df_i + 200 \cdot ((1 - b) + \frac{dl_j}{avdl})};$$

$\alpha_{20}$  — Окари коэффициент, выражающийся по формуле

$$w_{i,j} = \frac{(k_1 + 1) \cdot tf_{i,j}}{\frac{dl_j}{avdl} + tf_{i,j}}.$$

Кроме использованных весовых коэффициентов также может использоваться ряд различных коэффициентов: ltn, lnc, dtc, ltc, dtu, Lnu, atn, prn, ntc, BM26 и т.д.

Приведем формулы некоторых из них:

$$\text{ltn } w_{i,j} = (\ln(tf_{ij}) + 1) \cdot idf_j,$$

$$\text{atn } w_{i,j} = idf_j \cdot [0,5 + 0,5 \cdot tf_{ij} / \max tf_{ij}],$$

$$\text{lnc } w_{i,j} = \frac{\ln(tf_{ij}) + 1}{\sqrt{\sum_{k=1}^t (\ln(tf_{ik}) + 1)^2}},$$

$$\text{ntc } w_{i,j} = \frac{tf_{ij} \cdot idf_j}{\sqrt{\sum_{k=1}^t (tf_{ik} \cdot idf_k)^2}},$$

$$\text{dte } w_{i,j} = \frac{(\ln(\ln(tf_{ij}) + 1) + 1) \cdot idf_j}{\sqrt{\sum_{k=1}^t ((\ln(\ln(tf_{ik}) + 1) + 1) \cdot idf_k)^2}},$$

$$\text{Itc } w_{ij} = \frac{(\ln(tf_{ij})+1) \cdot idf_j}{\sqrt{\sum_{k=1}^I ((\ln(tf_{ik})+1) \cdot idf_k)^2}},$$

$$\text{dtu } w_{ij} = \frac{(1 + \ln(1 + \ln(tf_{ij}))) \cdot idf_j}{(1 - slope) \cdot pivot + slope \cdot nt_i},$$

$$\text{Lnu } w_{ij} = \frac{(\ln(tf_{ij})+1 / \ln(1_i / nt_i) + 1)}{(1 - slope) \cdot pivot + slope \cdot nt_i},$$

$$\text{nprn } w_{ij} = tf_{ij} \cdot \ln\left[\frac{(n - df_j)}{df_j}\right],$$

$$\text{BM26 } w_{i,j} = \frac{(k_1 + 1) \cdot tf_{i,j}}{K + tf_{i,j}} \cdot \ln \frac{J - df_i + 0,5}{df_i + 0,5} \cdot (k_2 + 1).$$

Рассмотрим несколько примеров целевого использования коэффициентов. Предположим, необходимо выделить все термины, которые встречаются часто в малом количестве книг, тогда необходимо рассматривать  $\alpha_{13}$  и  $\alpha_{18}$ .  $\alpha_{13}$  должен неограниченно расти  $\alpha_{13} \geq 50$ , а  $\alpha_{18}$  должен быть положительным и иметь значение  $20 \leq \alpha_{18} \leq 50$ . Если же мы введем еще одно ограничение, например, размер книги должен быть небольшим, то в этом случае дополнительно используются  $\alpha_{14}$ ,  $\alpha_{15}$  и  $\alpha_{17}$ .  $\alpha_{14}$  должен быть минимальным (в диапазоне от 0 до  $\alpha_{13}$ ),  $\alpha_{15}$  увеличивается и имеет значение  $5 \cdot 10^{-3} \leq \alpha_{15} \leq 5 \cdot 10^{-2}$ , а  $\alpha_{17}$  имеет значение больше 1.

Рассмотрим теперь следующий пример. Необходимо выделить термины, которые часто встречаются в большом количестве книг, то есть термины, по которым сложно идентифицировать отдельную книгу, но в то же время это термины, характерные для этого класса книг. В этом случае мы можем использовать  $\alpha_{18}$ . Если  $\alpha_{18} < 0$ , то термин встречается минимум в 50% книг коллекции.

При необходимости использования оценки запроса пользователя нужно брать коэффициенты  $\alpha_{16}$ ,  $\alpha_{18}$ ,  $\alpha_{19}$ , которые включают встречаемость запрашиваемого термина (терминов) в запросах других пользователей. При этом при одинаковой встречаемости в тексте больший вес  $\alpha_{16}$  и меньший  $\alpha_{19}$  будет иметь термин, чаще встречающийся в запросах.

Следует отметить, что во многих коэффициентах ( $\alpha_{14}$ ,  $\alpha_{16}$ ,  $\alpha_{18}$ ,  $\alpha_{20}$ ) используется отношение длины текущего документа и средней длины документов в коллекции. Таким образом, можно учитывать, в какой по объему книге встречается запрашиваемый термин.

### 3. Оценка точности и полноты по результатам запросов, использующих весовые коэффициенты

Для оценки результатов, представляемых пользователю, существует целый ряд подходов. Одним из них является построение 11-точечного графика полноты/точности, который отражает изменение

точности в зависимости от требований к полноте и дает более полную информацию, чем единая метрика в виде одной цифры. При этом под полнотой (recall) понимают отношение найденных релевантных документов к общему количеству релевантных документов:

$$\text{recall} = \frac{a}{a+c}.$$

Полнота характеризует способность системы находить нужные пользователю документы, но не учитывает количества нерелевантных документов, выдаваемых пользователю.

Точность (precision) вычисляется как отношение найденных релевантных документов к общему количеству найденных документов:

$$\text{precision} = \frac{a}{a+b}.$$

Точность характеризует способность системы выдавать в списке результатов только релевантные документы.

Данный график был построен для коллекции в 50 документов с 6 соответствующими запросам. Система выдает в качестве результатов запроса все эти документы, ранжированные так, что релевантными являются первый, третий, четвертый, пятнадцатый, двадцать первый и тридцать четвертый. Для различных срезов результатов полнота принимает значения 0,17; 0,33; 0,5; 0,66; 0,84 и 1,0. В результате для множества запросов получили результаты, представленные на рис.1.

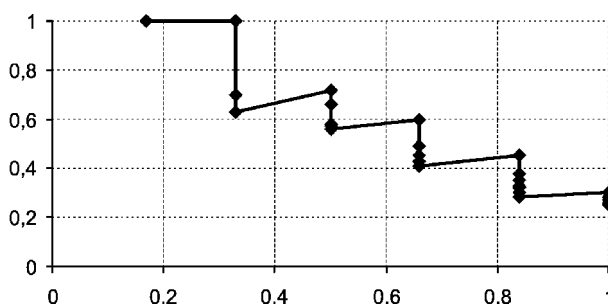


Рис. 1. Кривая полноты/точности для некоторого множества запросов

Как видно из приведенного графика, точность падает с увеличением полноты. Это вполне объяснимо, так как выделить 1-2 релевантных документа из общего числа документов значительно проще, чем 5-6.

Следует отметить, что данный график не в полной мере отражает зависимость точности от полноты, так как не учитывает выбора необходимого весового коэффициента для проведения классификации.

На рис. 2. приведены графики зависимости полноты при использовании в запросах различных коллекций документов.

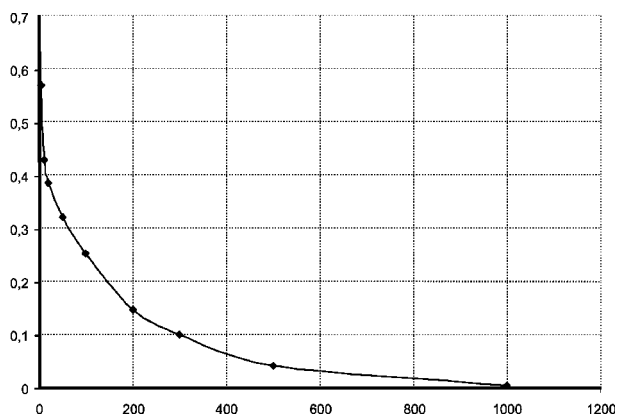


Рис. 2. Зависимость полноты от количества документов

В связи с этим, при поиске большого числа релевантных документов повышается вероятность ошибочного отнесения документа к соответствующим запросу, что неизбежно приводит к снижению точности.

По результатам следует сделать выводы, что полнота падает с увеличением количества документов, используемых для поиска данных по запросу.

На рис. 3 изображена зависимость точности от полноты в зависимости от выбора различных  $\alpha_i$  коэффициентов из пункта 3 для проведения классификации. На рис. 3а изображены графики для коэффициентов  $\alpha_{15}$ ,  $\alpha_{16}$ ,  $\alpha_{17}$  соответственно, на рис. 3б —  $\alpha_{19}$ ,  $\alpha_{18}$  и  $\alpha_{20}$ , на рис. 3с —  $\alpha_{14}$ ,  $\alpha_{13}$  и  $\alpha_{12}$ .

На основе приведенных графиков мы отмечаем, что на результаты поиска большее влияние оказывает выбор весовых коэффициентов  $\alpha_{15}$ ,  $\alpha_{16}$ ,  $\alpha_{17}$  и  $\alpha_{19}$ , в то время как для остальных точность изменяется более плавно. Однако для коэффициентов  $\alpha_{20}$ ,  $\alpha_{13}$  и  $\alpha_{12}$  точность даже при малой полноте оставляет желать лучшего. При этом следует также отметить, что в данном случае мы не рассматривали зависимость наших результатов от количества ключевых терминов или фраз, задаваемых пользователем. Однако данный параметр может существенно повлиять на изменение точности и особенно полноты получаемых в результате данных.

Далее необходимо выяснить, как влияет совместное использование коэффициентов на точность и полноту классификации множества документов. Эти зависимости приведены на рис. 4.

Из приведенных зависимостей можно сделать вывод о целесообразности совместного использования коэффициентов, так как точность при той же полноте повышается примерно на 10%. Однако необходимо учитывать то, что некоторые коэффициенты несовместимы между собой и их использование может привести к снижению точности классификации по сравнению со значением каждого из них, как это представлено на графике ■. В этом случае, несмотря на достаточно высокое значение точности при малой полноте, с ростом

полноты точность резко падает, что в целом является нежелательным. Также следует отметить, что увеличение числа коэффициентов приводит к большим вычислительным затратам, а следовательно — к увеличению времени классификации.

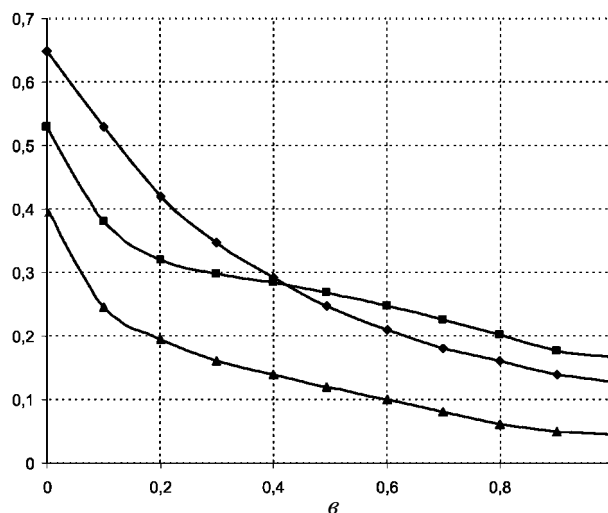
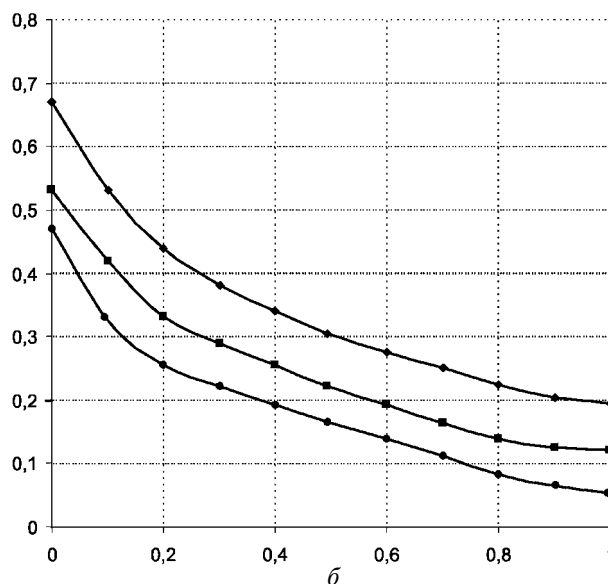
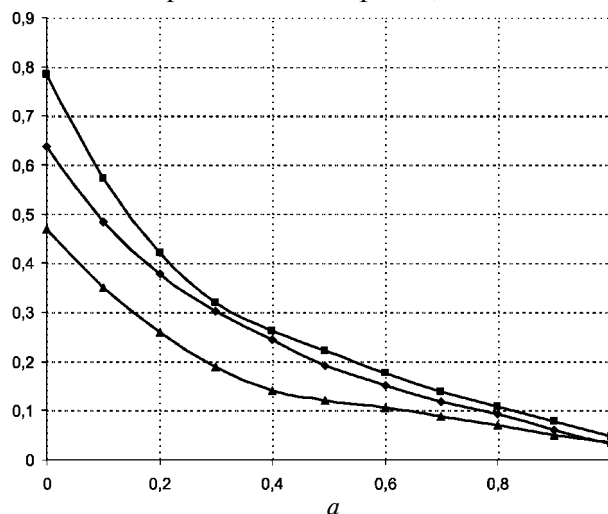


Рис. 3. Зависимость точности от полноты при использовании различных  $\alpha_i$

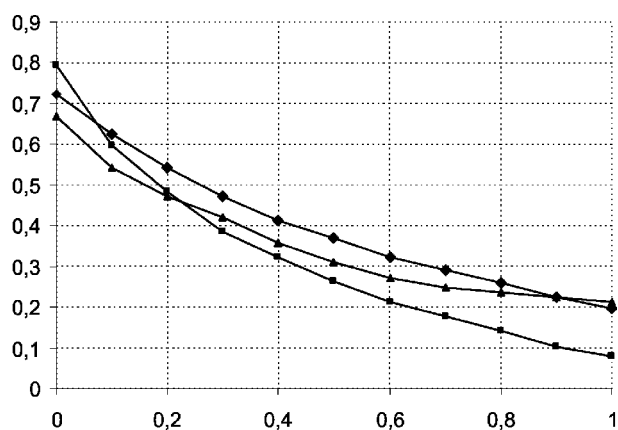


Рис. 4. Отношение точности к полноте при совместном использовании весовых коэффициентов

### Результаты и перспективы исследований

Необходимо отметить, что использование весовых коэффициентов на этапе индексации позволяет создавать качественные классификаторы. Из приведенного анализа точности и полноты результатов запросов можно сделать вывод о целесообразности использования комбинированных весовых коэффициентов с целью создания более устойчивых к входным данным запросов классификаторов. Это в первую очередь связано с тем, что разные коэффициенты могут дополнять друг друга, что позволяет увеличить полноту и точность, так как будет найдено большее число документов, релевантных запросу. Однако еще следует более широко исследовать вопрос возможного количества используемых одновременно весовых коэффициентов, то есть как влияет на полноту и точность использование одновременно  $n$  коэффициентов. Ведь может получиться, что рост вычислительных затрат не соответствует росту значений точности и полноты, или же вообще мы приходим к ситуации, когда увеличение количества коэффициентов не сказывается положительно на значениях точности и полноты.

Следует отметить, что полученные результаты позволяют рассчитывать на эффективное использо-

вание комбинированных весовых коэффициентов при создании классификаторов для различных поисковых систем и в электронных библиотеках.

**Список литературы:** 1. *Chen H., Houston A., Sewell R., and Schatz R.* Internet browsing and searching: User evaluations of category map and concept space techniques // *Journal of the American Society for Information Science.* — Vol. 49, № 7. — 1998. — P. 604-618. 2. *Gordon M., Pathak P.* Finding information on the World Wide Web: The retrieval effectiveness of search engines // *Information Processing and Management.* — Vol. 35, №2. — 1999. — P. 141-180. 3. *Menczer F.* Complementing search engines with online Web mining agents // *Decision Support Systems.* — Vol. 35, № 2. — 2003. — P. 195-212. 4. *Харламов А.* Автоматический структурный анализ текстов // *Открытые системы.* — № 10. — 2002. 5. *Aslam J.A., Pavlu V. and Savell R.* A unified model for metasearch, pooling, and system evaluation. In: *Proceedings of the Twelfth International Conference on Information and Knowledge Management.* New Orleans, LA, — 2003. — P. 484-491. 6. *Advances in automatic text summarization / Mani I. and Maybury M.T. (eds.)* Cambridge, Massachusetts: MIT Press. — 1999. — 442 p. 7. *Berry M.W.* Survey of text mining: clustering, classification, and retrieval. New York: Springer-Verlag. — 2003. — 244 p. 8. *Wai L., Ruiz M., and Srinivasan P.* Automatic Text Categorization and Its Application to Text Retrieval // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.* — Vol.11. — 1999. — P. 865-879. 9. *Willett I.* Query specific automatic document classification / *International Forum on Information and Documentation,* — Vol. 10. — 1985. — P. 28-32. 10. *Goldstein J., Kantrowitz M., Mittal V. and Carbonell J.* Summarizing text documents: Sentence selection and evaluation metrics / *In Proceedings of SIGIR,* — 1999. — P.121-128. 11. *Алешин Л.И.* Классификация информационных ресурсов электронных библиотек: По результатам поиска в Интернете // *Библиография.* — 2003. — №4. — С. 3-7. 12. *Sandor D.* *Mathematical Foundations of Information Retrieval.* — Kluwer. 2001. — 304 p. 13. *Лоуренс С.* Контекст при поиске в Web // *Открытые системы.* — №12. — 2000. — С. 62-66. 14. *Jacso P.* Citation searching // *Online Information Review.* — Vol. 28, No 6. — 2004. — P. 454-460. 15. *Воройский Ф.С.* Индексирование документов в автоматизированных библиотечно-информационных системах // *Библиотека.* — 1996. — №9. — С.42-44. 16. *Cleveland D.B. and Cleveland A.D.* *Introduction to Indexing and Abstracting,* 3rd ed. Libraries Unlimited, Englewood, CO. — 2000. — 283 p.

Поступила в редколлегию 18.10.2007

УДК 004.75:[004.65]



## МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ПОВЕДЕНЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Л.Э. Чалая

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, kovalivnich@yahoo.com

В статье предложен метод формирования базы биометрических эталонов для идентификации пользователей информационных систем по клавиатурному почерку и стилю работы. Предложенный метод позволяет существенно снизить трудоемкость основных процедур идентификации. В случае изменения со временем отдельных биометрических характеристик предусмотрена возможность коррекции соответствующих эталонов. Осуществлен выбор критериев текущего анализа биометрических профилей.

**БИОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ, БИОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭТАЛОН, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ, КЛАВИАТУРНЫЙ ПОЧЕРК, СТИЛЬ РАБОТЫ**

### Введение

Процедура динамической идентификации пользователей распределенных информационных систем (РИС) может производиться на основе отношения формируемого в процессе сеанса работы биометрического профиля этого пользователя к одному из эталонных биометрических образов. Система биометрической идентификации должна давать некоторый гарантированный результат, а используемые в ней процедуры должны быть простыми в вычислительном отношении [1]. Концептуальной базой разработки таких процедур является теория распознавания образов.

В данной работе рассматриваются методы формирования и коррекции баз биометрических эталонов пользователей РИС по поведенческим характеристикам — клавиатурному почерку и стилю работы.

### 1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу формирования и обновления баз биометрических эталонов пользователей по результатам тестирования биометрических характеристик пользователей РИС.

Общая модель динамической идентификации пользователей предполагает использование двух баз: базы эталонов клавиатурного почерка  $\{x_{ie}^k\}$  и базы эталонов стиля работы пользователей  $\{x_{je}^c\}$ . Формирование биометрического образа  $i$ -го пользователя, соответствующего эталону  $x_{ie}^k$ , основано на усреднении данных результатов тестирования этого пользователя по конечному числу тестов.

Клавиатурным почерком пользователя будем называть совокупность индивидуальных характеристик, определяющих особенность его работы в режиме ввода текста с клавиатуры (например, время удержания клавиши, времена между нажатиями клавиш, частота использования функциональных клавиш и т.д.).

Стилем работы пользователя будем называть использование характерных задач (из некоторой

альтернативной совокупности) в определенных программных оболочках, выполнение типичных физических действий (нажатий клавиш, кнопок мыши и т.д.) при решении этих задач, а также временные характеристики и последовательности выполнения таких действий.

Процедура формирования базы  $\{x_{ie}^k\}$  является тривиальной и не вызывает существенных трудностей. Однако использование всех элементов этой базы в алгоритмах динамической идентификации пользователей в реальном масштабе времени может являться избыточным и нерациональным (особенно, если количество возможных пользователей РИС является значительным). Поэтому представляется целесообразным предварительно снизить размерность задачи путем объединения формируемых эталонов в компактные и достаточно изолированные друг от друга классы. Для этого воспользуемся методом, основанным на идее классификации объектов [2].

Формирование базы эталонов стиля работы  $\{x_{je}^c\}$  может быть осуществлено с помощью создания таблиц, характеризующих особенности выполнения пользователями отдельных операций в различных программных оболочках.

### 2. Формирование баз биометрических эталонов

Пусть исходное количество протестированных пользователей, для которых создаются эталоны биометрических профилей, равно  $n$ .

Введем понятие меры близости  $m(x_i, x_j)$  между эталонами базы  $\{x_{ie}^k\}$  как некоторую однозначно определяемую функцию, зависящую от информативных биометрических параметров, совокупность которых определена заранее. В качестве такой меры может быть принята, например, потенциальная функция, связанная с расстоянием между биометрическим профилем и биометрическим эталоном.

Назовем функцию  $Y(x, x_i)$ , центрированную относительно вектора  $x_i$ , потенциальной. Здесь  $x$  —

некоторый произвольный вектор, размерность которого совпадает с размерностью вектора  $x_i$ .

Метод потенциальных функций состоит в использовании симметрии относительно  $x_i$ , то есть  $Y(x, x_i) = Y(x_i, x)$ . Наиболее приемлемыми для практического использования являются потенциальные функции вида:

$$Y(x, x_i) = e^{-vR^2}, \quad (1)$$

$$Y(x, x_i) = \frac{1}{1 + vR^2}, \quad (2)$$

$$Y(x, x_i) = \frac{\sin vR^2}{vR^2}, \quad (3)$$

где  $v$  — положительная константа;  $R$  — расстояние от  $x$  до  $x_i$ .

Эти функции уменьшаются по мере увеличения расстояния  $R$ , где  $R^2 = \|x - x_i\|^2$ .

При выборе конкретной потенциальной функции следует учитывать скорость убывания потенциальной функции при увеличении значения  $R^2$ , регулируемая параметром  $v$ . Чем сложнее разделяющая функция, тем быстрее должен убывать потенциал  $Y(x, x_i)$ .

С увеличением значения коэффициента  $v$  скорость убывания потенциальной функции  $Y$  возрастает, а с уменьшением — понижается. Значение коэффициента  $v$  при решении практических задач следует выбирать таким, чтобы скорость убывания потенциальной функции, регулируемая им, обеспечивала бы минимальную ошибку классификации. Подбор оптимального значения  $v$  представляет собой оптимизационную задачу.

Очевидно, что в качестве меры близости (4), используемой при формировании баз эталонов пользователей, может быть принята одна из рассмотренных выше потенциальных функций.

Под мерой близости  $m(x_a, D)$  произвольного элемента  $x_a$  базы  $\{x_{ie}^k\}$  к конечному множеству этих элементов  $D$  будем понимать отношение

$$m(x_a, D) = N_D^{-1} \sum_{x_j \in D} m(x_a, x_j), \quad (4)$$

где  $N_D$  — число элементов множества  $D$ .

Выделим из исходного множества биометрических эталонов  $M_o\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  два произвольных конечных множества  $C$  и  $D$  и введем в рассмотрение функцию  $K(C, D)$  — меру близости между  $C$  и  $D$ :

$$K(C, D) = \frac{1}{N_C N_D} \sum_{x_i \in C} \sum_{x_j \in D} m(x_i, x_j), \quad (5)$$

где  $N_C, N_D$  — число элементов классов  $C$  и  $D$  соответственно;  $m(x_i, x_j)$  — определенная выше мера близости эталонов  $x_i$  и  $x_j$ .

Алгоритм агрегирования исходного множества эталонов состоит из двух этапов.

На первом этапе множеству  $M_o\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ставятся в соответствие две последовательности  $M\{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n\}$  и  $N\{\tilde{k}_1, \tilde{k}_2, \dots, \tilde{k}_n\}$ . Таким образом элемент  $\tilde{k}_i$  формирующейся последовательности  $N$ , который является мерой близости выбираемого на  $i$ -м шаге объекта  $\tilde{x}_i$  к множеству уже отобранных к  $i$ -му шагу элементов  $\{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_{i-1}\}$ :

$$\tilde{k}_i = \max m(\tilde{x}_i, \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_{i-1}\}), \quad (6)$$

где  $\tilde{x}_i \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \setminus \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_{i-1}\}$ ,

Если объект  $\tilde{x}_i \in A$ , то сначала будут отобраны все элементы, принадлежащие множеству  $A$ . На границе перехода между множеством  $A$  и оставшейся частью множества  $M_o$  величина  $\tilde{k}$  будет скачкообразно уменьшаться.

На втором этапе происходит разбиение исходной последовательности на множества  $A_1, A_2, \dots, A_S$ . Вначале строится множество  $A_1$  по следующему правилу. Полагаем, что  $\tilde{x}_1 \in A_1$ . Пусть далее к  $A_1$  отнесены элементы  $\tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_j$ . Элемент  $\tilde{x}_{j+1}$  отнесем к  $A_1$ , если выполняется неравенство

$$\tilde{k}_j - \tilde{k}_{j+1} < \Delta. \quad (7)$$

В противном случае построение множества  $A_1$  заканчивается и начинается построение следующего множества. Заметим, что число множеств  $S$  зависит от величины параметра  $\Delta$ . От правильного выбора этого параметра зависит качество классификации.

Сформировав классы, необходимо для каждого из них определить центральный элемент, наиболее близкий (в смысле (4)) ко всем элементам класса. В  $r$ -том классе центральным элементом  $x_{r0}$  будет тот, для которого выполняется условие:

$$m(x_{r0}, \{M_r \setminus x_{r0}\}) = \max m(x_{ri}, \{M_r \setminus x_{ri}\}), i = \overline{1, N_r}, \quad (8)$$

где  $M_r$  — множество элементов  $r$ -го класса;  $N_r$  — количество элементов  $r$ -го класса.

Таким образом, кроме полной базы биометрических эталонов  $\{x_{ie}\}$  формируется дополнительный индексный файл центральных элементов  $\{x_{r0}\}, r = \overline{1, S}$ . Можно утверждать, что процедура текущей идентификации пользователя по клавиатурному почерку будет упрощена, если она предполагает проведение предварительного сравнения профиля тестируемого пользователя с элементами индексного файла  $\{x_{r0}\}$ . Основная процедура идентификации в этом случае ограничится последующим сравнением предъявляемого профиля с элементами класса, к которому принадлежит наиболее близкий к нему центральный элемент индексного файла. Процедуру выбора порогового параметра  $\Delta$  целесообразно дополнить проверкой выполнения следующего условия:

$$m(x_{r_0}, x_{r_i}) < m(x_{r_i}, x_{r_j}), \quad i = \overline{1, N_r}, \quad (9)$$

где  $x_{r_j}, j = \overline{1, N_l}$  —  $j$ -й элемент любого класса базы эталонов, исключая класс  $r$ ;  $N_l$  — количество элементов  $l$ -го класса;  $l = \overline{1, S}, l \neq r$ .

Процедура коррекции биометрических эталонов может быть также реализована на основе рекуррентных методов, учитывающих изменения во времени поведенческих характеристик пользователей РИС. Рассмотрим метод такой коррекции, основанный на текущем анализе коэффициентов обусловленности информационных матриц, формируемых во время сеансов работы пользователей.

Пусть при работе  $i$ -го пользователя формируется информационная матрица вида:

$$C_i = x_i \cdot x_i^T, \quad (10)$$

где  $x_i$  — текущий биометрический профиль  $i$ -го пользователя.

Если поведенческие характеристики  $i$ -го пользователя остаются стационарными в течение длительного времени, то коэффициент обусловленности  $K_{об}(C_i)$  матрицы  $C_i$  должен быть близок к коэффициенту обусловленности  $K_{об}(C_i^e)$  соответствующей информационной матрицы  $i$ -го эталона  $C_i^e$ . Индикатором изменения таких характеристик может служить существенное расхождение  $K_{об}(C_i)$  и  $K_{об}(C_i^e)$ . Таким образом, необходимо реализовать вычислительную процедуру рекуррентного пересчета значений  $K_{об}(C_i)$  в каждом из сеансов работы  $i$ -го пользователя.

Процедура сравнения  $K_{об}(C_i)$  и  $K_{об}(C_i^e)$  должна осуществлять обнуление соответствующих элементов матрицы  $C_i^e$ . Наличие большого количества нулевых элементов в матрице  $C_i$  может привести к ее плохой обусловленности.

Для повышения устойчивости вычислительной процедуры целесообразно применить корневые методы фильтрации матрицы  $C_i$ .

Процедура текущего оценивания стационарности поведенческих характеристик пользователя может быть основана на проверке выполнения условия:

$$|K_{об}(G_i) - K_{об}(G_i^e)| < \varepsilon_c, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_c$  — заданная пороговая константа;  $G_i^e$  — корень Холецкого матрицы  $C_i^e$ .

Нарушение условия (11) на протяжении трех последовательных сеансов свидетельствует об изменении некоторых биометрических параметров  $i$ -го пользователя и необходимости коррекции соответствующего элемента эталонной базы. Такая коррекция может быть осуществлена путем замены отдельных составляющих вектора  $x_{ie}^k$  ненулевыми

элементами текущего вектора  $x_i^k$ . Для более точной коррекции можно использовать стандартные адаптивные процедуры пересчета вектора  $x_i^k$  на протяжении достаточного количества последовательных сеансов.

Рассмотренные выше меры близости регистрируемых значений биометрических параметров и их эталонных значений могут быть использованы в процедурах динамической идентификации пользователей лишь по клавиатурному почерку, поскольку здесь существует возможность регистрации количественных (временных) значений параметров (ВУК и ВМН для полиграфов). В случае анализа стиля работы возможно фиксировать лишь факты использования идентифицируемыми пользователями тех или иных действий, операций и программ. Следовательно, возникает нетривиальная задача количественного оценивания близости эталонного и текущего биометрических профилей пользователей по параметрам стиля работы.

Рассмотрим подробнее процедуру (сеанс) работы пользователя с момента входа в РИС (после паролльного теста) до момента выхода из системы.

Очевидно, что такой сеанс представляет собой последовательность реализации некоторых взаимосвязанных пользовательских программ (стандартных или нестандартных) и соответствующих операций (например, удаление, копирование, открытие, модификация файлов и т. д.) с помощью последовательного выполнения определенных действий. Каждое из этих действий может быть атомарным (нажатие функциональных клавиш или кнопок мыши), либо фиксированной последовательностью некоторых атомарных действий. Следовательно, любое действие пользователя во время сеанса может быть представлено в векторной форме в трехмерном линейном пространстве.

Допустим, что существует возможность реализации операции 3 для программы 1 с помощью действий 2 или 4. При этом, если пользователь  $a$  предпочитает действие 4, а пользователь  $b$  — действие 2 (для комбинации «программа 1 — операция 3»), то формируемые элементы их профилей определяются разными векторами.

Предположим, что для достижения некоторого результата  $r$  пользователь  $a$  реализует комбинацию  $\{x_{ar}, y_{ar}, z_{ar}\}$ , а пользователь  $b$  — комбинацию  $\{x_{br}, y_{br}, z_{br}\}$ , где  $x_{ar}, y_{ar}, z_{ar}, x_{br}, y_{br}, z_{br}$  — фиксированные точки осей  $x, y, z$  рассмотренного пространства. Если упорядочить элементы (точки) осей в порядке убывания их влияния на биометрический профиль пользователя (например, по частоте использования соответствующих программ, операций и действий для конкретных РИС), то можно численно определить расстояние между векторами, отвечающими рассмотренным комбинациям.



Однако на практике целесообразно считать значимость отдельных точек осей  $x, y, z$  одинаковой. Это позволяет использовать более удобное табличное представление элементов динамического профиля стиля работы.

В таблице приведена предлагаемая структура такого представления.

Элементами  $a_{ij}$  этой таблицы являются значения (номера) действий, с помощью которых пользователь  $a$  реализует комбинацию «операция  $i$  — программа  $j$ ».

Такое представление может быть положено в основу создания эталонного биометрического образа пользователя по характеристикам стиля работы и использованию в дальнейшем в системе биометрической идентификации.

**Таблица**

Табличное представление элементов стиля работы пользователя РИС

| № операции | № программы |          |          |     |          |
|------------|-------------|----------|----------|-----|----------|
|            | 1           | 2        | 3        | ... | $n$      |
| 1          | $a_{11}$    | $a_{12}$ | $a_{13}$ | ... | $a_{1n}$ |
| 2          | $a_{21}$    | $a_{22}$ | $a_{23}$ | ... | $a_{2n}$ |
| 3          | $a_{31}$    | $a_{32}$ | $a_{33}$ | ... | $a_{3n}$ |
| ...        | ...         | ...      | ...      | ... | ...      |
| $m$        | $a_{m1}$    | $a_{m2}$ | $a_{m3}$ | ... | $a_{mn}$ |

Следует отметить, что на этапе обучения системы (создания биометрических эталонов пользователей) формируются полные таблицы, содержащие информацию о стилях работы пользователей. Во время сеансов биометрическая система может получить частичную информацию о значениях некоторых элементов идентификационной таблицы, соответствующих фактически выполненным пользователем действиям.

### 3. Выбор критериев текущего анализа биометрических профилей

Для реализации механизмов сравнения текущих биометрических данных пользователя РИС с совокупностью эталонных профилей возможно использование различных подходов. В частности, для анализа результатов динамической идентификации пользователей по клавиатурному почерку могут применяться мультипликативные, аддитивные и смешанные критерии сравнения биометрических характеристик [3].

Мультипликативные критерии предполагают проведение последовательного анализа отношений текущих биометрических характеристик к совокупности их эталонных значений.

Рассмотрим процедуру проведения такого анализа. Введем следующие обозначения:

$x_i, i=1, N$  — текущее значение  $i$ -го биометрического параметра;  $N$  — общее количество учитываемых биометрических параметров;

$x_{ie}$  — эталонное значение  $i$ -го биометрического параметра.

Первичный анализ отношения зарегистрированного значения  $x_i$  к соответствующему эталонному значению заключается в проверке выполнения условий мультипликативной фильтрации вида:

$$x_{i \min}^m \leq x_{im} \leq x_{i \max}^m, \quad (12)$$

где  $x_{im} = x_i / x_{ie}$ ;  $x_{i \min}^m$  — нижний порог фильтрации,  $x_{i \max}^m$  — верхний порог фильтрации.

Пусть во время сеанса работы тестируемого пользователя РИС было зарегистрировано  $k_m(i)$  значений  $i$ -го биометрического параметра, из которых  $k_{pm}(i)$  значений соответствуют количеству нарушений условия (12).

На втором этапе анализа проверяется выполнение следующего условия:

$$k_{\min}^m(i) \leq k_{pm}(i) / k_m(i) \cdot 100\% \leq k_{\max}^m(i), \quad (13)$$

где  $k_{\min}^m(i), k_{\max}^m(i)$  — минимально и максимально допустимые (в процентном выражении) усредненные значения нарушений условия (12) для мультипликативной фильтрации.

Очевидно, что условие (13) может лежать в основе простых алгоритмов идентификации пользователя. Механизм аддитивного сравнения биометрических характеристик заключается в том, что из текущих значений биометрических параметров, регистрируемых во время сеанса работы пользователя РИС, вычитаются соответствующие эталонные значения.

Таким образом, основой аддитивной фильтрации является последовательная проверка выполнения условий вида:

$$x_{i \min}^a \leq x_{ia} \leq x_{i \max}^a, \quad (14)$$

где  $x_{ia} = x_i - x_{ie}$ ;  $x_{i \min}^a$  — нижний порог фильтрации;  $x_{i \max}^a$  — верхний порог фильтрации.

Так как отклонение  $x_{ia}$  может быть как положительным, так и отрицательным, то порог  $x_{i \min}^a$  имеет отрицательное значение, а порог  $x_{i \max}^a$  — положительное значение. Если в процессе сеанса работы тестируемого пользователя РИС было зарегистрировано  $k_a(i)$  значений  $i$ -го биометрического параметра, из которых  $k_{pa}(i)$  значений соответствуют количеству нарушений условия (14), то на втором этапе анализа проверяется выполнение следующего условия:

$$k_{\min}^a(i) \leq k_{pa}(i) / k_a(i) \cdot 100\% \leq k_{\max}^a(i), \quad (15)$$

где  $k_{\min}^a(i), k_{\max}^a(i)$  — минимально и максимально допустимые (в процентном выражении)

усредненные значения нарушений условия (14) для аддитивной фильтрации.

Условие (15) может лежать в основе простых алгоритмов идентификации пользователя.

Разнородность учитываемых биометрических параметров приводит к тому, что для анализа одних из них более предпочтительным является применение мультипликативных, а для других — аддитивных критериев сравнения с базовыми эталонными значениями. К первой группе таких параметров можно отнести, например, значения ВУК пользователя, а ко второй — значения ВМН пользователя (для полиграфов различной размерности). При этом приоритетность использования конкретного критерия может зависеть от продолжительности сеанса, в течение которого регистрируются значения биометрических параметров. Это может привести к тому, что вероятность возникновения ошибок первого и второго рода в процессе идентификации может возрастать при неудачном выборе критерия. Логично предположить, что параллельное применение как аддитивного, так и мультипликативного критериев для формирования окончательного решения по некоторому алгоритму может повысить надежность системы биометрической идентификации.

Если при тестировании пользователя одновременно нарушаются условия (12) и (14), то это свидетельствует о высокой вероятности отрицательного результата. В случае же одновременного выполнения этих условий логичным является принятие решения о соответствии профиля тестируемого пользователя определенному эталону.

Промежуточным случаем является нарушение одного из условий ((12) или (14)) при тестировании пользователя. В этой ситуации целесообразным является применение дополнительных процедур, сокращающих вероятность возникновения ошибок первого и второго рода.

Рассмотренные выше аддитивные и мультипликативные критерии применимы непосредственно лишь для анализа биометрических параметров, характерных для клавиатурного почерка пользователей. Представление же значений биометрических параметров, соответствующих стилю работы пользователей, требует применения особых критериев их сравнения с эталонными профилями. Например таким критерием может служить процент несовпадения элементов эталонных и фактических таблиц, идентичных рассмотренной ранее таблице, при идентификации пользователей по стилю работы. Очевидно, что такое сравнение может быть информативным лишь при длительности сеанса, достаточной для формирования представительной части полной таблицы.

Предположим, что создана эталонная база значений биометрических параметров стиля работы

пользователя  $x_{je}$ , соответствующих элементам таблицы, а во время сеанса фиксируются фактические значения  $x_{jc}$ .

В этом случае можно использовать следующие условия предварительного анализа результатов тестирования пользователей по параметрам стиля работы:

$$k_{c\min} < k_c \leq m_c \cdot n_c, \quad (16)$$

$$\epsilon_{c\text{ доп}} \leq k_c^o \cdot 100\%, \quad (17)$$

где  $k_c$  — количество клеток текущей таблицы идентификации стиля, заполненных в процессе сеанса;  $k_{c\min}$  — минимально допустимое количество таких клеток;  $m_c, n_c$  — количество строк и столбцов общей (эталонной) таблицы;  $k_c^o$  — количество совпадений значений текущей и эталонной таблиц, то есть количество нулевых разностей ( $x_{jc} - x_{je}$ );  $\epsilon_{c\text{ доп}}$  — допустимый порог процентного отношения таких совпадений.

Очевидно, что проверка условий (12), (13), (14), (15), (16), (17) может лежать в основе алгоритмов динамической идентификации пользователей РИС как по клавиатурному почерку, так и по стилю их работы.

При разработке методов динамической идентификации пользователей РИС необходимо учитывать, что с течением времени их отдельные биометрические характеристики (а, следовательно, и биометрический профиль в целом) могут изменяться. Это может быть связано, например, с повышением квалификации пользователей, увеличением скорости набора текстов, обусловленным приобретением соответствующих навыков, и т. д. — естественное изменение характеристик.

Кроме того, биометрические параметры пользователей могут зависеть от фактора усталости и от возможных стрессовых ситуаций, что приводит к аномальным результатам идентификации — аномальное изменение характеристик.

Более точная оценка необходимости обновления используемой базы эталонов может основываться на текущем анализе стационарности биометрических характеристик пользователей по результатам очередных сеансов (например, на рекуррентном пересчете коэффициентов обусловленности информационной матрицы).

Процедуры обновления эталонных значений биометрических параметров осуществляются блоком коррекции, предусмотренным в модели идентификации. Этот блок придает биометрической системе идентификации адаптивные свойства и позволяет поддерживать ее работоспособность при естественных изменениях биометрических характеристик пользователей.

Рассмотренная процедура была реализована при создании базы биометрических эталонов для блока идентификации пользователей информационно-аналитической системы «Университет»[4].

### Выводы

Предложенный метод формирования двухуровневой базы эталонов биометрических профилей пользователей РИС позволяет существенно снизить трудоемкость основных процедур идентификации. В случае изменения со временем отдельных биометрических характеристик предусмотрена возможность коррекции соответствующих эталонов.

Рассмотренный метод предполагает идентификацию пользователей, которые могут быть сгруппированы в непересекающиеся классы. Такая ситуация характерна для РИС со стабильным контингентом пользователей, функции которых связаны с выполнением совокупности однородных операций. В случае разнородного контингента пользователей РИС более приемлемым представляется использование методов формирования баз и соответствующих индексных файлов, основанных на применении математического аппарата нечеткой

логики и искусственных нейронных сетей. При этом формируемые базы пользователей могут содержать пересекающиеся классы (кластеры), позволяющие учесть фактор неопределенности. Для выбора наиболее приемлемых алгоритмов формирования таких классов для идентификации пользователей как по клавиатурному почерку, так и по стилю работы, необходимо осуществить обоснованный выбор функций принадлежности и типов архитектуры нейронных сетей.

**Список литературы:** 1. *Иванов А.И.* Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. — Пенза: Изд-во ПГУ, 2000. — 188 с. 2. *Дубровин В.И., Субботин С.А.* Алгоритм классификации с оценкой значимости признаков // *Радиоелектроніка. Інформатика. Управління.* — 2001. — № 2. — С. 145-150. 3. *Широчин В.П., Кулик А.В.* Марченко В.В. Динамическая аутентификация на основе анализа клавиатурного почерка // *Вісник національного технічного університету України «КПІ».* — № 32. — 1999. — С. 70-76. 4. *Чалая Л.Э.* Модель идентификации пользователей по клавиатурному почерку // *Искусственный интеллект.* — 2004. — № 4. — С. 811-817.

*Поступила в редколлегию 23.10.2007*

УДК 57.08:632.082



## ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕОБРАТИМОГО ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ МЕМБРАНЫ КЛЕТКИ. ЧАСТЬ 1

В.А. Шигимага

Институт животноводства УААН, г. Харьков, Украина

Электропорация мембран живых клеток импульсным полем предполагает выбор определенных электрических режимов их обработки. Превышение критической величины поля приводит к электропробоею мембраны клетки, что определяется по ее проводимости. Для описания экспериментальной зависимости проводимости эмбриональной клетки мыши от напряженности импульсного поля, приложенного к мембране, принята кусочно-линейная модель. Значения параметров пробоя мембраны клетки получены аналитически как координаты точки пересечения отрезков аппроксимирующих прямых.

КЛЕТКА, МЕМБРАНА, ИМПУЛЬС, ПРОВОДИМОСТЬ, ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРОБОЯ

### Введение

Исследование и применение импульсного электрического воздействия на клетку как способа временного повышения проницаемости мембраны путем ее электропорации [1–3] является одним из важнейших современных направлений в биотехнологии. Загрузка клеток разного происхождения, в том числе нейронов [2, 3], различными макромолекулами — ДНК, белками, лекарственными веществами, стимуляторами, генами и т. п., улучшение трофической функции тканей на клеточном уровне — вот далеко не полный перечень того, что можно делать с помощью электропорации — мягкого и адекватного способа воздействия на транспортную функцию мембраны. Еще один интересный, на наш взгляд, аспект применения электропорации состоит в использовании эмбриональных стволовых клеток (ЭСК), исследования с которыми теперь бурно развиваются и имеют большие перспективы [4]. Известно, что из ЭСК можно получить в культуре любые специализированные клетки, в частности, нервные [5]. Последнее обстоятельство удобно для изучения свойств этих клеток *in vitro*, моделирования некоторых нейронных процессов. Возможно, удалось бы применить импульсную электростимуляцию, основанную на неразрушающей электропорации, к группе нервных клеток, полученных из ЭСК *in vitro*, учитывая наш удачный опыт применения этого метода к группе подобных по размеру клеток в составе ооцит-кумулюсного комплекса мыши [6].

Необходимо отметить, однако, что выполнение этих приложений метода требует осторожности при выборе правильных электрических режимов обработки живых клеток. Для этого нужно знать критические и безопасные параметры импульсного воздействия на них. Удобной моделью для этого могут служить довольно крупные и легко доступные одиночные клетки — ооциты (яйцеклетки) мыши. Поскольку все клетки эукариотов имеют идентичный структурный элемент — мембрану, строение и функция которой универсальны для всех клеток [1, 7], логично предположить, что мембраны любых

клеток, в том числе нервных, имеют свою критическую величину напряженности при обработке импульсным полем, которая определяется только размерами клетки [1, 2]. Выше этой напряженности наступает необратимый электропробой мембраны и разрушение клетки. Ниже — получаем различную степень электропорации мембраны, то есть такое обратимое ее состояние, когда в ней успевают закрыться искусственно пробитые импульсом дополнительные временные поры [2]. В то же время, электрическая прочность на разрыв самой мембраны для большинства эукариотических клеток есть величина почти постоянная, что не удивительно, учитывая постоянство состава (отношение белок/липид примерно 1:1) и толщины мембраны [1].

Исходя из вышеприведенных соображений становится очевидной необходимость разработки достоверных способов определения параметров электропробоя мембраны клетки, поскольку, как показывает анализ доступной литературы, в том числе патентной, по этой проблеме строгих вычислительных методов на основе интеллектуальных моделей нет.

Тем не менее, в открытых публикациях известны различные способы оценки состояния биообъекта при различных физических воздействиях.

Согласно одному из них, по графику термопластической зависимости биообъекта определяют его фазовое состояние, а именно, температурную зону (или интервал) фазового перехода при плавлении структуры объекта и соответствующую зону значений деформации [8]. Однако в этом способе не используется аналитическая аппроксимация полученной экспериментально зависимости с последующим строгим математическим анализом полученной функции с целью поиска координат точки фазового перехода. Это не позволяет математически и физически корректно, достоверно и объективно установить зависимость температуры фазового перехода (то есть конкретного значения, а не зоны значений) от свойств или вида объекта, а также влияния других факторов, например, криосреды или температуры.

Известен также способ определения электропроводности жидкости [9]. Способ заключается в том, что на электроды, погруженные в жидкость, подают прямоугольные биполярные импульсы неизменной амплитуды. Измеряют напряжение на электродах и/или проходящий через них ток, по меньшей мере, в трех выбранных моментах времени в течение длительности положительного полупериода поданного на электроды биполярного импульса. По трем измеренным значениям амплитуды импульса находят аппроксимирующую экспоненциальную функцию, из действительной и мнимой частей которой вычисляют активное сопротивление и его поляризационно-емкостную составляющую. Однако и этот способ не обеспечивает корректного определения параметров объекта по проводимости, поскольку не учитывает ее зависимости от напряженности поля между электродами, так как амплитуда входных импульсов неизменна. В то же время в способе используется методика математической обработки результатов измерений путем аппроксимации измеренных значений амплитуды импульса к заданной модельной функции, в данном случае, экспоненте. Несмотря на это, аппроксимирующая функция позволяет сделать расчет проводимости только при одном значении напряженности, что не дает возможности судить о каких-то резких изменениях проводимости, поскольку все измерения проводят при одной выбранной амплитуде импульса и притом очень небольшой, чтобы не вызвать необратимых изменений объекта.

Известен также ближайший аналог описанного ниже метода. Согласно ему определяют проводимость клетки путем подачи на нее прямоугольных импульсов напряжения с возрастающей от нуля по заданному закону амплитудой через электроды, погруженные в жидкую среду с клеткой [10]. Далее вычисляют проводимость клетки и строят график ее зависимости от напряженности поля между электродами. По графику судят о характере изменения проводимости среды в данном интервале напряженности.

Однако и этот способ не обеспечивает физически корректного и достоверного определения конкретных значений напряженности импульсного поля при соответствующих резких изменениях проводимости клетки. Это не позволяет исследовать такие необратимые процессы с резким ростом проводимости, как пробой мембраны клетки при критической для нее напряженности электрического поля, тем самым не обеспечивается возможность определять параметры электропробоя мембраны. Сами значения этих параметров зависят от многих факторов, в частности, от свойств среды, внешних физических условий эксперимента, а, кроме того, определяются видовой специфичностью клеток, их

размером и т.п. В связи с этим для практики клеточной биотехнологии представляет интерес знание конкретных величин параметров электропробоя в этих различных условиях, с тем чтобы можно было эффективно проводить различные электроманипуляции с живыми клетками, не допуская при этом критических значений поля и не опасаясь необратимого электропробоя мембраны и повреждения клетки. Или наоборот, применяя заведомо закритические поля выборочно (прицельно) лизировать некоторые клетки, например, опухолевые.

Объединяя идеи описанных выше способов-аналогов, то есть выделение области резкого изменения параметров биообъекта на графике их зависимости от внешнего воздействия и элементы точного математического анализа этой области, можно предложить один из вариантов вычисления параметров электропробоя.

*Цель статьи* — представить один из разработанных нами методов определения параметров необратимого электропробоя мембраны клетки, реализуемый с минимальными вычислительными затратами, используя известный программный продукт, при сохранении достаточной объективности и достоверности расчетов [11].

Предложенный метод относится к области биотехнологии, а именно клеточной инженерии, и может быть использован для повышения эффективности обработки живых клеток электрическим полем, которое применяется в различных технологиях электроманипуляции с клетками — активации, стимуляции, электропорации, электротрансфекции и электрослияния.

## 1. Методика

Определение проводимости клеток проведено с помощью аппаратуры и по методике, которые подробно описаны ранее [10, 12].

Объект исследования — созревшие ооциты мыши — размещались в капле среды 0,3М маннита между микроэлектродами на предметном стекле микроскопа. Микроэлектроды закреплены в манипуляторах и юстированы соосно в поле зрения инвертированного микроскопа.

Все предварительные операции от построения графика по экспериментальным точкам до подгонки по ним кусочно-линейных аппроксимирующих уравнений выполнены с помощью программного пакета Microsoft Excel 2000 v.9.0. Координаты точки пересечения отрезков подогнанных прямых вычислены по известным формулам аналитической геометрии через определитель системы линейных уравнений, записанных в общем виде.

Отсюда следует и название предложенного метода определения параметров пробоя мембраны клетки — графоаналитический — по сути выполняемого алгоритма.

Ниже в качестве примеров приведены рассчитанные по этому алгоритму параметры электропробоя мембран ооцитов мышцы в диэлектрических растворах 0,3М маннита с разной температурой, полученные предложенным методом.

### 2. Результаты и обсуждение

В основу разработанного метода поставлен усовершенствованный способ определения проводимости путем воздействия импульсным полем на клетку [10].

Суть усовершенствования состоит в анализе резких изменений проводимости клетки и сводится к следующему. В известном способе (прототипе) определения проводимости, включающем подачу на электроды, погруженные в среду, импульсов напряжения с возрастающей от нуля по заданному закону амплитудой и определение зависимости проводимости от напряженности поля, согласно предложенному методу, между электродами в среде вплотную к ним располагают исследуемую клетку, а определенную для нее зависимость проводимости от напряженности поля аналитически аппроксимируют двумя прямыми и вычисляют координаты точки их пересечения, которые считают значениями параметров электропробоя мембраны клетки, причем, абсцисса дает напряженность поля, а ордината — проводимость клетки в момент пробоя.

Сущность разработанного метода поясняется графиком (см. рис.). На нем изображены экспериментальные точки (с погрешностями) зависимостей проводимости яйцеклеток (ооцитов) мышцы от напряженности импульсного поля при температуре среды 25 °С и 35 °С. На обеих зависимостях приведены также соответствующие линии и уравнения аппроксимирующих прямых, каждая пара которых, пересекаясь, дает точку с координатами параметров электропробоя мембраны клетки при данной температуре среды.

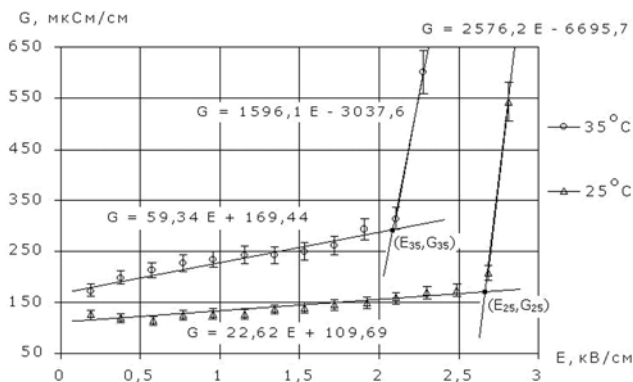


Рис. График зависимости проводимости ооцитов мышцы от напряженности импульсного поля при различной температуре среды

Заявленный способ реализуется следующим образом. Между электродами, погруженными в

среду, помещают вплотную к ним исследуемую клетку, например, ооцит мышцы и подают известное импульсное напряжение с возрастающей от нуля амплитудой по заданному закону, например, линейно. Измеряют ток, протекающий в момент прохождения импульса через ооцит. Далее по известным и измеряемым значениям рассчитывают проводимость клетки. Вычисленные значения проводимости наносят на график в зависимости от напряженности поля. Полученную зависимость условно разбивают на две ветви по характеру роста (слабый и резкий рост проводимости). Далее методом наименьших квадратов проводят аппроксимацию двух ветвей зависимости линейными функциями до и после предполагаемого пробоя, наличие которого определяют по резкому росту проводимости. После этого вычисляют координаты точки пересечения аппроксимирующих прямых, решая совместно систему двух линейных уравнений согласно известному правилу аналитической геометрии. Вычисленные значения координат точки пересечения прямых считают началом необратимого разрыва (электропробоя) мембраны. Эти координаты и представляют собой параметры электропробоя, причем, абсцисса — это напряженность пробоя, а ордината — проводимость клетки в момент разрыва мембраны.

**Пример 1.** Получена экспериментальная зависимость проводимости ооцита мышцы от напряженности поля при температуре среды 25 °С. Проведена линейная аппроксимация двух ветвей этой зависимости прямыми, уравнения которых записаны в общем виде. Таким образом, получена система линейных уравнений (см. график для 25 °С):

$$\begin{cases} 22,62E - G + 109,69 = 0; \\ 2576,2E - G - 6695,7 = 0, \end{cases}$$

где  $G$  и  $E$  — текущие переменные; проводимость клетки и напряженность поля соответственно.

Решая эту систему линейных уравнений, вычисляют координаты точки пересечения прямых ( $E_{25}$ ,  $G_{25}$ ) согласно известным формулам аналитической геометрии. Для этого делят определитель при каждом неизвестном на главный определитель системы:

$$\begin{aligned} E_{25} &= \frac{\begin{vmatrix} -1 & -6695,7 \\ -1 & 109,69 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 2576,2 & -1 \\ 22,62 & -1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1 & -6695,7 \\ -1 & 109,69 \end{vmatrix}} = 2,67 \text{ кВ/см}; \\ G_{25} &= \frac{\begin{vmatrix} -6695,7 & 2576,2 \\ 109,69 & 22,62 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 2576,2 & -1 \\ 22,62 & -1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1 & -6695,7 \\ -1 & 109,69 \end{vmatrix}} = 169,97 \text{ мкСм/см}. \end{aligned}$$

Таким образом, вычисленные параметры электропробоя мембраны ооцита мышцы при  $t = 25$  °С составляют: напряженность поля  $E_{25} = 2,67$  кВ/см, проводимость в момент разрыва мембраны  $G_{25} \approx 170$  мкСм /см.

**Пример 2.** Получена экспериментальная зависимость проводимости другого ооцита мышцы от напряженности импульсного поля при температуре среды 35 °С. Проведена линейная аппроксимация двух ветвей этой зависимости и получена система линейных уравнений (см. график для 35 °С):

$$\begin{cases} 59,34E - G + 169,44 = 0; \\ 1596,1E - G - 3037,6 = 0, \end{cases}$$

где  $G$  и  $E$  — имеют тот же смысл, что и в примере 1.

Проведя аналогичные вычисления координат ( $E_{35}$ ,  $G_{35}$ ) точки пересечения прямых системы, которые выполняются по такому же принципу, как и в примере 1, получаем следующие значения параметров электропробоя мембраны ооцита мышцы при  $t=35$  °С: напряженность поля  $E_{35} \approx 2,09$  кВ/см, проводимость в момент разрыва мембраны  $G_{35} \approx 293$  мкСм/см.

По вычисленным значениям параметров электропробоя хорошо видно влияние температуры среды на электрическую прочность мембраны ооцита, а именно, с ростом температуры она падает, что согласуется с известными данными [1, 2].

Таким образом, эти примеры показывают, что предложенный способ позволяет точно и достоверно, в соответствии с выбранной моделью линейной аппроксимации, вычислять параметры электропробоя мембраны клетки.

Преимущество разработанного метода состоит в том, что в отличие от прототипа он позволяет анализировать необратимые процессы с резким изменением проводимости, такие как пробой мембраны клетки. Это дает возможность исследовать влияние разных внешних факторов на ее электрическую прочность, а размещение клетки вплотную к электродам позволяет снизить потери энергии импульса на проводимость среды, тем самым уменьшить ее шунтирующее влияние. Кроме того, предложенный способ прост в осуществлении, не требует больших вычислительных ресурсов и позволяет повысить информативность определения электрофизических свойств биообъектов, имеющих чувствительные структурные элементы, склонные к необратимому разрушению с потерей жизнеспособности при превышении критических значений внешних воздействий.

Предложенный метод можно положить в основу разработки автоматической аппаратуры с интеллектуальным анализом данных и управлением по обратной связи с клеткой, то есть самонастраивающийся по гибкому алгоритму автомат для выполнения той или иной задачи: либо стимуляции клеток (путем электропорации), либо выборочного (прицельного) разрушения клетки или группы клеток, например, раковых. Чем не альтернативный метод терапии опухолей?

## Выводы

Предложен метод определения параметров электропробоя мембраны клетки путем графоаналитической линейной аппроксимации зависимости ее проводимости от напряженности линейно нарастающего импульсного поля. Метод позволяет исследовать влияние не только различных внешних факторов, но также и видовую специфичность электрической проводимости и прочности мембраны различных клеток.

Во второй части статьи предполагается рассмотреть более сложный в смысле использования вычислительных ресурсов графоаналитический метод, однако, более информативный, поскольку с его помощью возможно вычисление не только параметров необратимого электропробоя, но и параметров электропорации от самого ее начала вплоть до предпробойных значений. Знание этих параметров дает перспективу интеллектуального управления транспортной функцией мембраны с целью поэтапной и мягкой «загрузки» клетки молекулами разных размеров различных веществ, что, собственно, и составляет один из предметов клеточной и генной инженерии.

**Список литературы:** 1. *Zimmermann U., Neil G.A.* Electromanipulation of cells. N.Y.: CRC Press, 1996. — 375 p. 2. *Chang D.C., Chassy B.M., Saunders J.A., Sowers A.E.* Guide to Electroporation and Electrofusion. — San Diego.: Academic Press.-1992. — 581 p. 3. *Potter H.* Electroporation in biology: Methods, applications and instrumentation // *Anal. Biochem.* — 1988. — v. 174. — P. 361-373. 4. *Лукаш Л.Л., Василевская С.В.* Стволовые клетки млекопитающих in vitro как основа для создания современных биотехнологий // *Біополімери і клітина.* — 2001. — Т. 17. — № 3. — С. 203-211. 5. *Савченко И.П.* Создание модельных систем культур клеток млекопитающих для решения проблем биологии и биотехнологии // Автореф. дис... докт. биол. наук: 03.00.23 // *ВНИИ физиол., биохим. и питания с.-х. животных.* — Дубровицы. — 1997. — 38 с. 6. *Спосіб активації розвитку in vitro ооцит-кумулясних комплексів (ОКК) ссавців* // Пат. кор. мод. №19077, Україна, С12N 5/00, С12N 13/00. — 2006. — Бюл. № 12. 7. *Geoffrey M. Cooper.* The Cell: A Molecular Approach.-Sunderland. — ASM Pres.-2nd Ed. — 2000. — 571 p. 8. *Способ определения фазового состояния биообъектов при криоконсервации* / А.с. СССР, №1780001, G01N 33/483. — 1992 г. 9. *Способ и устройство для измерения электропроводности жидкости* // EP № 0288099 A1, G01R 27/22. — 1988 г. 10. *Шигимага В.А.* Определение проводимости эмбриональных клеток животных // *Проблемы бионики.* — Харьков. — 2003. — Вып. 59. — С. 60-64. 11. *Спосіб визначення параметрів електропробою клітинної мембрани* // Пат. кор. мод. №24210, Україна, G01N 33/483, G01R 27/22. — 2007. — Бюл. №9. 12. *Шигимага В.О.* Апаратура для електрозлиття та вивчення провідності клітин // *Вісник Харків. держ. техн. ун-ту с/г-ва.* — Харків. — 2001. — Вип. 6. — С. 386-389.

Поступила в редколлегию 24.10.2007

УДК 621.396.961.1



## МЕТОДЫ DATA MINING И OLAP ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БАНКОВСКОГО КРЕДИТОВАНИЯ

О.В. Ивченко<sup>1</sup>, А.С. Коряк<sup>2</sup>, В.Б. Репка<sup>3</sup>, А.В. Шерстнюк<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ivchenko.o@mail.ru

<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, akoryak@mail.ru

<sup>3</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, victoria\_repka@kture.kharkov.ua

<sup>4</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, troll\_andrey@mail.ru

Рассмотрены проблемы, возникающие в процессе кредитования физических лиц в банках Украины. Определены задачи, которые необходимо решить для эффективного кредитования и минимизации риска. Предлагается использовать нейросетевую систему поддержки принятия решений, основанную на методах Data Mining (модульная нейронная сеть) и OLAP-технологии.

МОДУЛЬНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, РЕКУРРЕНТНЫЙ МНОГОСЛОЙНЫЙ ПЕРСЕПТРОН, СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, БАНК, КРЕДИТОВАНИЕ, OLAP, DATA MINING, БАЗА ЗНАНИЙ, ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ

### Введение

Главная цель банка как коммерческого предприятия — получение прибыли. Основным источником прибыли для банка — предоставление в ссуду своих кредитных ресурсов. В то же время основные убытки банки терпят от непосредственно кредитной деятельности. Причиной такого положения является проведение некоторыми банками слишком рискованной кредитной политики. Естественно, полностью избежать риска невозможно, поскольку предоставление кредитов — это изначально рискованный вид бизнеса. Поэтому одной из главных задач банка является минимизация кредитного риска. Эта деятельность позволит банкам максимизировать прибыль и снизить потери от проведения кредитных операций.

Существуют различные подходы и методы оценки кредитоспособности частного заемщика, основанные на статических моделях или базирующиеся на субъективных оценках специалистов банка и зависящие от личного опыта и впечатления о потенциальном клиенте, а также автоматизированные системы, созданные с использованием математических моделей.

Наиболее популярными сегодня в области кредитования являются скоринговые системы, основанные на технологии углубленного анализа данных Data Mining, которые предоставляют банковскому служащему данные в удобном для принятия решений виде и способствуют выработке рекомендаций.

Искусственные нейронные сети и другие методы Data Mining давно используются большинством зарубежных банков не только для определения кредитоспособности заемщика, но и для многих других финансовых задач и за это время успели проявить себя с лучшей стороны и принести немалый доход.

**Постановка задачи.** На основании анализа процесса кредитования в украинской банковской системе предлагается разработать нейросетевую систему поддержки принятия решений (НССППР), в которой в качестве механизма выработки решений на основании хранящейся или поступающей информации используется модульная нейронная сеть.

В статье описывается структура данной системы, которая способствует повышению точности прогнозирования при выдаче кредита физическим лицам и снижению риска кредитования в банках. НССППР основана на методах Data Mining (модульной нейронной сети) и OLAP-технологии.

### 1. Проблемы кредитования физических лиц в банках

Банк является центральным звеном в системе рыночных отношений, развитие его деятельности — необходимое условие реального создания рыночной экономики. Банк — своего рода посредник между элементами экономической системы. Аккумулируя финансовые ресурсы у одних экономических агентов (имеющих их излишек) и распределяя их другим (имеющим недостаток финансовых ресурсов), банк выполняет важнейшую роль в народном хозяйстве — роль источника средств для развития и роста перспективных секторов экономики.

Любой банк, взаимодействуя с внешней средой как открытая система, находится в динамической связи с другими объектами народного хозяйства. К последним, прежде всего, относятся предприятия корпоративного сектора — юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Но на сегодняшний день для банков Украины наиболее актуальной является проблема кредитования физических лиц. Одной из ключевых проблем является получение объективной, достоверной



и полной информации о физическом лице. Банк сталкивается с непрозрачностью расходов и доходов клиента, отсутствием истории взаимоотношений с клиентом и отсутствием гарантий доходов клиента на срок кредитования. На Западе эта проблема решается следующим образом: кредитное бюро предоставляет информацию о клиенте в режиме on-line, включая его кредитную историю, финансовое состояние и репутацию. Данной информации вполне достаточно для принятия решения о предоставлении или не предоставлении кредита. Причем в данном случае клиент не тратит время на сбор документации. У нас в стране порой для получения более или менее крупного кредита бухгалтерия вынуждена в течение месяца, а то и более заниматься подготовкой запрашиваемой документации, необходимой банку для принятия решения о предоставлении кредита.

В настоящее время в банках обрабатываются большие объёмы информации, но главной проблемой является не обработка информации, а формирование исходных данных для принятия решений. Это относится не только к банку, но и к любой другой организации, в которой циркулируют большие потоки информации. Но в банке задача обработки большого количества информации и принятия

правильного решения играет наиболее важную роль из-за сжатости сроков.

Большинство банков имеет филиалы и отделения и, как правило, использует несколько различных информационных систем, что приводит к возникновению проблемы разрозненного хранения данных.

## 2. Структура нейросетевой системы поддержки принятия решений

Для комплексного подхода к решению задачи кредитования физических лиц в банке предлагается создать единую банковскую систему управления процессом кредитования с единым хранилищем данных, форматом данных, разработанную на единой платформе, содержащей новейшие технологии обработки данных и методы принятия решений – нейросетевую систему поддержки принятия решений (СППР).

Предлагается общая структура данной системы, представленная на рис. 1.

Система содержит базу знаний, модуль настройки и обучения НС, блок принятия решений и интерфейсы эксперта и пользователя.

База знаний состоит из хранилища данных, в которое посредством OLAP системы поступают дан-

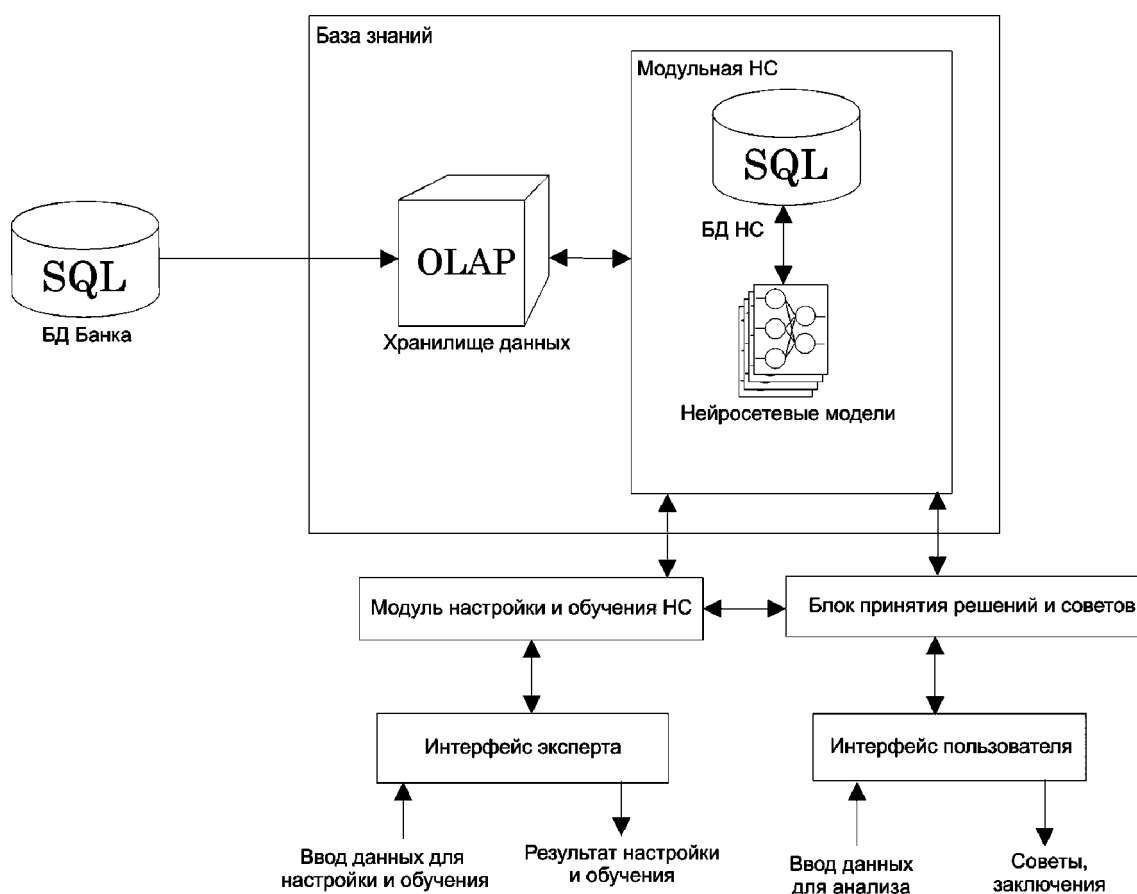


Рис. 1. Структура нейросетевой системы поддержки принятия решений для банковского кредитования физических лиц

ные из баз данных всех филиалов банка и модульной нейронной сети.

Модульная нейронная сеть содержит нейросетевые модели — изначально рекуррентные, но в будущем и другие НС и базу данных, хранящую данные для обучения НС.

Построение моделей НС производит эксперт, который подаёт данные для обучения НС через интерфейс эксперта; данные поступают в «Модуль обучения и настройки НС», после чего НС обучаются на основании знаний эксперта и характеристик предшествующих заемщиков, поступивших из «Хранилища данных». Настройки для нейросетевых моделей заносятся в базу данных НС.

Конечным пользователем программного продукта является сотрудник отдела кредитования, к которому клиент обращается с просьбой о выдаче ему кредита. Сотрудник банка вводит через интерфейс пользователя информацию о новом заемщике, затем эта информация попадает в «Блок принятия решений и советов», откуда поступает на модульную НС. В модульной НС поставленную задачу решает та НС, входящая в её состав, которая выдает наиболее точное решение.

Нейронная сеть, настроенная опытным экспертом и обученная на предыдущем опыте, принимает решение и подаёт его на блок принятия решений, там принятое решение оценивается и в качестве одного из возможных правильных решений предоставляется пользователю или, в случае, если данных о подобных ситуациях в обучающей выборке нет — передается в «Модуль настройки и обучения НС». На основании полученного совета кредитный эксперт располагает обоснованными данными с целью выработки дальнейших решений — выдать кредит или отказать, а полученные результаты и информация о рассмотренной заявке и заемщике поступает в хранилище данных. По истечении определенного промежутка времени НС могут корректироваться в связи с ростом объемов информации, что позволяет предоставить руководству банка качественную информацию для принятия решения о выдаче кредита.

Использование системы аналитической обработки данных в режиме реального времени — OLAP (On-Line Analysis Processing) позволяет выбирать данные одновременно из нескольких источников, структурировать их и формировать информацию, необходимую для принятия правильных и экономически обоснованных решений.

В НССППР (рис. 1) данные поступают из базы данных, содержащей первичную информацию, далее информация проходит через следующие уровни хранения и анализа: хранилище данных (ХД), OLAP.

Сбор первичной информации представляет собой накопление подробной информации в базе данных за прошлые годы банковской деятельности. Базы данных содержатся как в банке, так и в его филиалах. Данные источники информации являются разрозненными и могут использовать различные СУБД, так как программное обеспечение в филиалах может обновляться гораздо позже, чем в самом банке. Для СППР важным критерием является количество и качество первичной информации, поэтому требуется собрать, структурировать и представить в удобном виде для последующих этапов анализа и принятия решений всю имеющуюся информацию.

Необходимая для анализа информация поступает в хранилище данных. Хранилище данных — предметно-ориентированный, интегрированный, неизменяемый, поддерживающий хронологию набор данных, организованный для целей поддержки принятия решений. Концепция ХД предполагает разделение структур хранения данных для оперативной обработки и выполнения аналитических запросов. Это позволяет в рамках одной СППР объединить две (и более) подсистемы [1].

Существует виртуальное и физическое ХД. В данном случае используется физическое ХД. Данные из БД всех филиалов и самого банка переносятся в единое хранилище, к которому адресуются все аналитические запросы.

При переносе данных из БД в ХД наиболее важной задачей является их очистка. Очищенные данные сохраняются и могут использоваться для анализа и принятия на их основе решений.

Существуют определённые классы задач, которые лучше решать в рамках хранилища данных, в нашем случае это анализ клиентской базы. Анализ клиентской базы позволяет сформировать целевые сегменты клиентов и использовать эту информацию при кредитовании. Целевые сегменты формируются на основе демографических и финансовых показателей, а также других параметров клиентов.

### **3. Модульная нейронная сеть как механизм выработки решений**

Использование методов интеллектуального анализа данных, в частности нейронных сетей (НС), для решения подобных задач вызвано их нелинейностью, нетребовательностью к глубокому пониманию связей между исходными данными и результатами в отличие от традиционных методов. Важнейшее свойство НС, свидетельствующее об их огромном потенциале и широких прикладных возможностях, состоит в параллельной обработке информации одновременно всеми нейронами. Благодаря этой способности при большом количестве межнейрон-

ных связей достигается значительное ускорение обработки информации. Не менее важное свойство НС состоит в способности к обучению и обобщению полученных знаний.

Ядром НСППР является модульная нейронная сеть [2]. Структура сети представлена на рис. 2.

Нейронная сеть состоит из модулей RNN 1 – RNN N, представляющих собой рекуррентные сети и блок принятия решений в виде однослойного перцептрона SLP. Такая структура является частным случаем общей структуры модели модульной сети [3]. В качестве модулей используются различные архитектуры рекуррентных нейронных сетей. Рекуррентные нейронные сети были выбраны как наиболее подходящие для решения задачи классификации динамических объектов [4], которыми являются сведения о физических лицах при кредитовании. Возможными архитектурами, которые составляют модульную НС, являются сети:

- RMLP (рекуррентный многослойный перцептрон);
- RTRN Вильямса Зипсера;
- сеть Эльмана.

На данный момент программно реализованы нейронная сеть RMLP и RTRN.

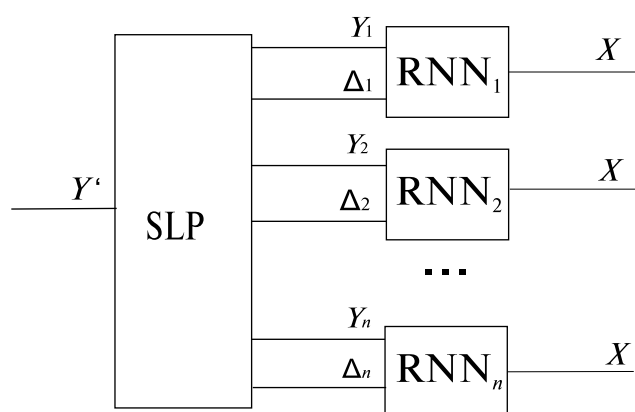


Рис. 2. Структура модульной НС

В соответствии с предложенной структурой модульной НС разработан алгоритм обучения, состоящий из следующих шагов:

*Обучение модулей RNNi.*

1. Подача на все выходы модулей RNNi вектора X, содержащего характеристики клиента банка.
2. Вектор X обрабатывается каждым i-м модулем, в результате на выходе модулей получаем n выходных векторов Yi.
3. Используя выходы Yi и вектор идеальных выходов D, модули RNNi обучаются по соответствующим алгоритмам обучения.
4. После полного обучения модулей получаем векторы Δi, представляющие собой множество оценок качества обучения модулей RNNi:

а) суммарная квадратическая ошибка:

$$E = \sqrt{\frac{1}{SN_o} \sum_S \sum_j (d_j^S - y_j^S)^2}, \quad (1)$$

где S – количество элементов в обучающем множестве;  $N_o$  – количество нейронов в выходном слое;  $d_j^S$  – известное решение S-го элемента из обучающего множества;  $y_j^S$  – решение, полученное нейронной сетью.

б) средняя относительная ошибка:

$$\sigma = \frac{1}{SN_o} \sum_S \sum_j \left( \frac{|d_j^S - y_j^S| + 1}{|d_j^S| + 1} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

в) процент правильно распознанных образов:

$$\eta := \frac{S}{S_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $S_0$  – количество образов в обучающем множестве; S – количество правильно спрогнозированных образов.

*Обучение блока принятия решений.*

1. Подача на входы всех модулей RNNi вектора X, содержащего характеристики клиента банка из обучающей выборки.

2. Вектор X обрабатывается каждым модулем, в результате на выходе модулей получаем набор выходных векторов Yi.

3. На вход сети SLP (Single layer perceptron) подается входной вектор, состоящий из векторов Yi и оценок качества обучения нейронных сетей Δi.

4. После обработки входного вектора на выходе сети SLP получаем вектор Y', представляющий собой набор нулей и единиц и содержащий двоичный код индекса i модуля RNNi (номер модуля в двоичной системе счисления), у которого наименьшая среднеквадратическая ошибка на выходе. На основании этой ошибки обучается сеть SLP.

Алгоритм работы обученной модульной сети заключается в следующем:

1. Подача на все выходы модулей RNNi вектора X, содержащего характеристики нового клиента банка. Вектор X обрабатывается каждым модулем, в результате на выходе модулей получаем n выходных векторов Yi.
2. На вход сети SLP подается входной вектор, состоящий из векторов Yi и оценок качества обучения нейронных сетей Δi. После обработки входного вектора на выходе сети SLP получаем вектор Y', представляющий собой двоичный код индекса i модуля RNNi, у которого наименьшая среднеквадратическая ошибка на выходе.
3. На выходе модульной нейронной сети получаем вектор Yk, где k – индекс модуля с наименьшей среднеквадратической ошибкой, определенной сетью SLP.

Приведем результаты экспериментов по использованию в качестве модулей рекуррентный многослойный перцептрон RMLP (Recurrent MultiLayer Perceptron), который является динамической сетью и характеризуется запаздыванием входных и выходных сигналов, объединяемых во входной вектор сети. Структура сети RMLP, содержащая один скрытый слой, один входной и один выходной сигнал, представлена на рис. 3.

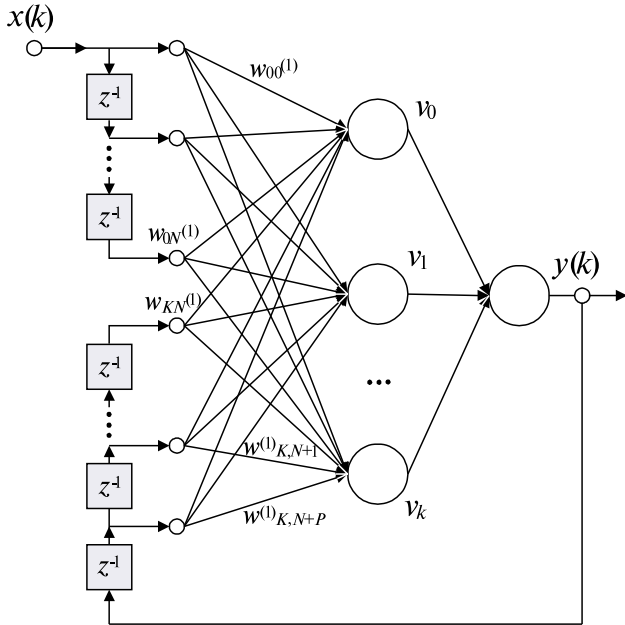


Рис. 3. Структура рекуррентного многослойного перцептрона

Такая система реализует отображение:

$$\begin{aligned} y(k+1) &= f(x(k), x(k-1), \dots \\ & x(k-(N-1)), y(k-1), \\ & y(k-2), \dots, y(k-P)), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $(N-1)$  – количество задержек входного сигнала;  $P$  – количество задержек выходного сигнала. Обозначим  $K$  количество нейронов в скрытом слое. В этом случае RMLP можно характеризовать тройкой чисел  $(N, P, K)$ . Подаваемый на вход вектор сети имеет вид:

$$\begin{aligned} x(k) &= [x(k), x(k-1), \dots \\ & x(k-(N-1)), y(k-P), \\ & y(k-P+1), \dots, y(k-1)]^T. \end{aligned} \quad (5)$$

Все нейроны сети имеют сигмоидальную функцию активации.

Моделируемая сеть RMLP включает в себя три слоя: входной, один скрытый и выходной. Сеть адаптируется с применением градиентного алгоритма обучения [4]. Данный алгоритм функционирует в режиме «online», принимая поступающие входные данные и соответствующие им значения ожидаемого вектора  $d$  и оперативно корректируя значения весов.

Выходной вектор сети RMLP зависит от совокупности входных и выходных векторов в предыдущие моменты времени. Если на вход НС подавать образы в одной и той же последовательности, то на графике среднеквадратической ошибки сети RMLP (рис. 4), можно заметить резкие скачки значений среднеквадратической ошибки через каждые 150 итераций, которые обусловлены тем, что на вход сети образы начинают подаваться сначала. Если бы данные на вход сети поступали непрерывно, отображая какой-либо динамический процесс, то график среднеквадратической ошибки был бы гладким.

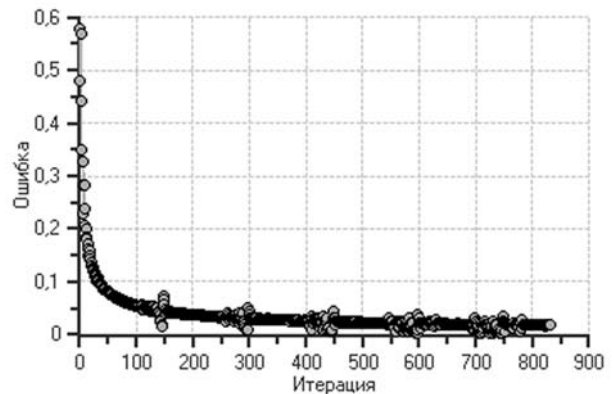


Рис. 4. График среднеквадратической ошибки сети RMLP

Для успешного применения сети RMLP для решения задачи кредитования физических лиц, то есть задачи классификации – определения, к какому классу можно отнести нового заемщика, к «вернувшему» или «не вернувшему» кредит, можно представить сам процесс кредитования как динамический и непрерывный.

В качестве запаздывающих входных и выходных сигналов берутся те элементы выборки, которые соответствуют заемщикам, получившим кредит в последнее время и характеристики которых отражают текущую экономическую ситуацию. Это позволяет ускорить обучение НС и получить результаты, отражающие состояние кредитующихся при существующем экономическом уровне страны.

На вход сети, с установленным количеством запаздывающих входных и выходных сигналов, подаётся новая информация о заемщике, сеть при этом обучается непрерывно. В то время, как на динамическую сеть, такую как многослойный перцептрон, придётся переобучать через определённые промежутки времени, когда будут накапливаться большие объёмы новой информации, на что потребуется достаточно много времени.

Для сравнения качества и скорости обучения был реализован многослойный перцептрон. Результаты обучения показали, что НС RMLP адаптируется гораздо быстрее и при меньшем количестве скрытых

слоёв и нейронов в них. Например: если обучить данные нейронные сети на одну и ту же выборку (150 образцов, каждый входной вектор представляет собой 32 входных значения и одно значение требуемого выхода), то одинаковые значения среднеквадратических ошибок сетей получаются при обучении многослойного персептрона за 1000–1500 итераций, а рекуррентного многослойного персептрона за 500 итераций.

При изменении параметров для обучения нейронной сети, а также при изменении количества нейронов в скрытом слое, можно добиться лучших результатов, например, на рис. 5 изображён график среднеквадратической ошибки сети RMLP для той же выборки, но с другими значениями количества нейронов, параметра наклона функции активации и коэффициентами скорости обучения.

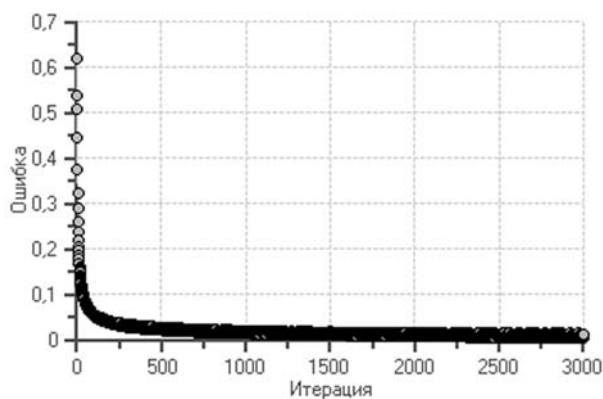


Рис. 5. График среднеквадратической ошибки сети RMLP с изменёнными параметрами

Таким образом, можно сделать вывод, что сеть RMLP обоснованно можно включить в качестве модуля предложенной модульной сети и использовать для решения задачи кредитования.

### Заключение

В статье была предложена структура нейросетевой системы поддержки принятия решений (НССППР), в которой в качестве механизма выработки решений на основании хранящейся или поступающей информации используется модульная нейронная сеть.

Использование хранилища данных и OLAP позволит решить проблему разрозненного хранения данных в банках и сформировать исходные данные для принятия решений.

Внедрение предложенных нейросетевых моделей кредитования и создание на их основе СППР позволит обеспечить рациональное использование кредитных ресурсов банка и прогнозировать сроки возврата и процентные ставки таким образом, чтобы получить максимальную прибыль от кредитования.

**Список литературы:** 1. Барсегян А.А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. — СПб.: БХВ-Петербург. — 2004. — 336 с. 2. Bart L.M. Happel, Jacob M.J. Murre. Design and Evolution of Modular Neural Architectures. Neural Networks, Vol.7, No 6/7, 985-1004 pp. 1994. 3. Eric Ronko, Peter Gawthrop Modular Neural Networks: a state of the art / Technical report: CSC-95026, Centre for System and Control University of Glasgow, Glasgow, UK. — 1995. 22 pp. 4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.

Поступила в редколлегию 24.10.2007

УДК 004.93'1:514.142



## ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВСА ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Е.В. Яковлева<sup>1</sup>, И.А. Панченко<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, yakovleva@kture.kharkov.ua<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, irina\_panchenko@mail.ru

Проведен анализ энергетических характеристик Лавса. Исследована возможность применения данных характеристик для решения задачи сегментации текстурных изображений. Разработаны, программно реализованы и исследованы алгоритмы сегментации текстурных изображений на базе использования характеристик Лавса. На основе анализа экспериментов сделаны выводы о целесообразности использования данных характеристик для сегментации изображений.

СЕГМЕНТАЦИЯ, ТЕКСТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАВСА, МАСКИ

### Введение

Сегментация обычно понимается как процесс поиска интересующих объектов на изображении. Она является базовой процедурой практически во всех задачах обработки изображений с помощью систем компьютерного зрения. Для сегментации изображений различных типов применяются разные методы, например, корреляционные, пороговые методы, методы анализа цвета, текстурные методы [1, 2, 3].

Текстура является характерным признаком, применяемым для сегментации изображений на области интереса и для классификации этих областей. Текстура описывает пространственное распределение цветов или значений интенсивности на изображении.

На рис. 1 приведены примеры различных текстур, природных и синтезированных искусственно.



Рис. 1. Примеры текстур

Методы описания текстурных изображений делятся условно на две категории: статистические (например, вычисление матриц совпадений, энергетических характеристик Лавса [4]) и структурные (например, построение мозаики Вороного) [2].

Анализ современного состояния вопроса сегментации текстурных изображений позволяет сделать вывод, что, несмотря на существующие успехи в его решении, на сегодняшнее время он решен лишь для частных задач при определенных ограничениях на тип изображений, наличие геометрических и яркостных искажений и т. д., и необходимо проводить дальнейшие исследования в области разработки методов сегментации текстурных изображений на базе статистического и структурного описания текстур [2, 6].

Целью исследований данной работы является вопрос сегментации изображений методом энергетических характеристик Лавса и целесообразность его применения для изображений с ярко выраженной текстурой.

### 1. Получение энергетических характеристик Лавса

Данный метод предполагает обнаружение различных типов текстур с помощью локальных масок. Лавс (Laws) предложил энергетический подход [4], в котором оценивается изменение содержания текстуры в пределах окна фиксированного размера. Для вычисления энергетических характеристик используется набор из девяти масок размерами 5 × 5. Затем энергетические характеристики каждого пикселя анализируемого изображения представляются в виде вектора из 9 чисел. Для вычисления масок используются следующие векторы:

$$\begin{aligned} L &= [1, 4, 6, 4, 1], \\ B &= [-1, -2, 0, 2, 1], \\ S &= [-1, 0, 2, 0, -1], \\ R &= [1, -4, 6, -4, 1]. \end{aligned} \quad (1)$$

Названия векторов описывают их назначение. Вектор  $L$  (level) предназначен для вычисления симметричного взвешенного локального среднего значения. Вектор  $B$  (border) предназначен для обнаружения границ,  $S$  (spots) — для обнаружения пятен,  $R$  (ripples) — для обнаружения образа в виде ряби. Двумерные маски вычисляются умножением пар векторов [5].

На первом шаге получения характеристик Лавса устраняется влияние интенсивности освещения. Для этого по изображению перемещается небольшое окно и из значения каждого пикселя вычитается локальное среднее значение. В результате данной предварительной обработки формируется изображение, на котором средняя интенсивность каждой пиксельной окрестности близка к нулевому значению. Размер окна зависит от типа изображе-

ний. Для естественных сцен было выбрано окно размерами 15 x 15.

После предварительной обработки к полученному изображению применяется каждая из шестнадцати масок 5 x 5. В результате формируются шестнадцать профильтрованных изображений. Обозначим через  $F_k[i, j]$  результат фильтрации пикселя  $[i, j]$  с использованием  $k$ -й маски. Тогда энергетическая текстурная карта  $E_k$  для фильтра  $k$  определяется выражением:

$$E_k(r, c) = \sum_{j=c-7}^{c+7} \sum_{i=r-7}^{r+7} |F_k(i, j)|. \quad (2)$$

Таким образом, формируются 16 текстурных карт.

$$\begin{aligned} E_1 &= E^{LL}; E_2 = E^{LB}; E_3 = E^{LS}; E_4 = E^{LR}; \\ E_5 &= E^{BL}; E_6 = E^{BB}; E_7 = E^{BS}; E_8 = E^{BR}; \\ E_9 &= E^{SL}; E_{10} = E^{SB}; E_{11} = E^{SS}; E_{12} = E^{SR}; \\ E_{13} &= E^{RL}; E_{14} = E^{RB}; E_{15} = E^{RS}; E_{16} = E^{RR}. \end{aligned} \quad (3)$$

После получения энергетических карт (3) некоторые симметричные пары комбинируются и в результате строятся девять окончательных карт. Каждая симметричная пара карт заменяется усредненной картой, которую обозначим добавочным индексом T. Ниже перечислены девять окончательных энергетических карт:

$$\begin{aligned} E_1 &= E^{LBT}; E_2 = E^{LST}; E_3 = E^{LRT}; E_4 = E^{BST}; \\ E_5 &= E^{BRT}; E_6 = E^{SRT}; E_7 = E^{BBT}; E_8 = E^{SST}; \\ E_9 &= E^{RRT}. \end{aligned} \quad (4)$$

В работе предлагается использовать полученные энергетические карты в качестве характерных признаков при сегментации текстурных изображений.

## 2. Применение энергетических карт для сегментации текстурных изображений

Математическая модель задачи сегментации изображений на основе характеристик Лавса имеет следующий вид:

$$D \rightarrow \{D_1, \dots, D_S\}, \quad (5)$$

где область  $D = \bigcup_{r=1}^S D_r$ ;

$$\begin{aligned} D_r &= \{(i, j) | \rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) < \delta\}, r = \overline{1, S}, \\ \rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) &< \delta \end{aligned} \quad (6)$$

– критерий, определенный как мера сходства, которую можно вычислить по одной из известных формул [3];  $\delta$  – некоторое пороговое значение;  $\bar{E}(x_r, y_r)$  – вектор  $\bar{E}(x_r, y_r) = (E_1(x_r, y_r), \dots, E_9(x_r, y_r))$  энергетических карт (4) эталона класса  $r$ ;  $(x_r, y_r)$  – точка-эталон класса текстур  $r$ ;  $(i, j)$  – точка, при-

надлежность которой к классу текстур  $r$  определяется в данный момент;  $(i, j), (x_r, y_r) \in D / D_{r-1}$ .

На основе модели (5) были разработаны алгоритмы поточечной и фрагментарной сегментации изображений.

При поточечной сегментации для всего изображения строятся энергетические карты (4), в результате этого каждый пиксель  $(i, j) \in D$  характеризуется вектором  $\bar{E}(i, j)$  из 9 значений, которые используются в качестве признаков для сегментации изображения.

При принятии решения о принадлежности точки  $(i, j)$  одному классу текстур  $r$  использовался критерий (6), где мера сходства вычислялась по формуле

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^9 |E_k(i, j) - E_k(x_r, y_r)|}{9}, \quad (7)$$

где  $E_k(i, j), E_k(x_r, y_r)$  – значения пикселей  $(i, j), (x_r, y_r)$  на текущей и эталонной соответственно  $k$ -ой энергетической карте;  $(i, j), (x_r, y_r) \in D / D_{r-1}$ .

Аналогично проводится фрагментарная сегментация. Изображение разбивается на фрагменты размером 15 x 15 пикселей. Для всех фрагментов строятся векторы характеристик  $\bar{E}(i_f, j_f)$ , где  $i_f$  и  $j_f$  – порядковые номера фрагмента по вертикали и горизонтали соответственно. Векторы  $\bar{E}(i_f, j_f)$  для фрагментов получаются путем усреднения значений энергетических характеристик для каждого пикселя этого фрагмента. Полученные векторы текстурных признаков фрагментов используются для вычисления меры сходства между ними. Тогда в формуле (7) координаты  $(i, j)$  и  $(x_r, y_r)$  являются координатами определяемого и эталонного фрагментов соответственно.

## 3. Результаты сегментации

На основе разработанного алгоритма сегментации создана программная система, которая позволила ознакомиться с экспериментально полученными результатами применения характеристик Лавса и провести их анализ.

В качестве тестового материала использовались полутоновые изображения с ярко выраженной текстурой размером 105 x 105 пикселей в формате bmp (рис. 1).

Результаты поточечной сегментации представлены в табл. 1.

## 4. Анализ применения характеристик Лавса

Целью проведения анализа применения характеристик Лавса для сегментации изображений являлось получение экспериментального подтверждения того, что энергетические карты Лавса существенно

подчеркивают характерные особенности текстурных изображений и могут быть использованы в решении различных задач по обработке изображений, в частности, сегментации. Как известно, корреляционный метод оценки схожести изображений обладает высокой точностью [8], поэтому было решено оценить схожесть изображений двумя методами: путем вычисления меры сходства между самими изображениями по формуле

$$\rho(i, j) = \frac{\sum_{i,j} B_1(i, j) \cdot B_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j} B_1^2(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i,j} B_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D, \quad (8)$$

где  $B_1, B_2$  — сравниваемые изображения, и путем вычисления меры сходства энергетических карт этих изображений. Для этого в формуле (8) значения яркостей заменили энергетическими характеристиками Лавса

$$\rho(i, j) = \frac{\sum_{i,j} E_1(i, j) \cdot E_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j} E_1^2(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i,j} E_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D. \quad (9)$$

В качестве тестовых изображений были взяты текстурные изображения, показанные на рис. 2.

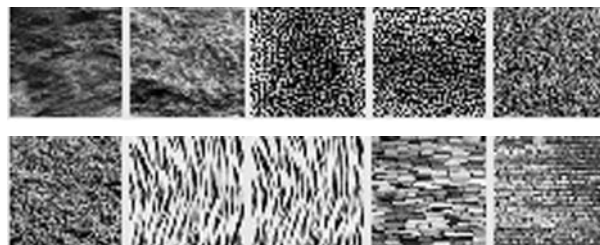














Рис. 2. Тестовые изображения

Результаты вычислений меры сходства (8) по изображениям представлены на рисунке 3. Была построена симметричная матрица 10 × 10, в которой на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца стоит

Таблица 1

| Исходное изображение  | Промежуточный результат  | Результат сегментации  |
|---|--|--|
| <br>105 × 105 px  | <br>Порог $\rho = 80$ ; сформировано 3 класса  | <br>Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов  |
| <br>105 × 105 px | <br>Порог $\rho = 80$ ; сформировано 4 класса | <br>Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов |
| <br>105 × 105 px | <br>Порог $\rho = 80$ ; сформировано 4 класса | <br>Выделение 2-го (■) класса             |
| <br>105 × 105 px | <br>Порог $\rho = 70$ ; сформировано 3 класса | <br>Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов |



значение коэффициента корреляции для  $i$ -го и  $j$ -го изображения. Только в 2-х из 10-ти экспериментов наиболее схожими оказались текстуры, содержащие визуально похожие изображения. Например в первой строке текстура воды по коэффициенту наиболее схожа с текстурой шкуры тигра ( $\rho = 0,856$ ), а не с другой текстурой воды ( $\rho = 0,847$ ).

|    |       |       |       |       |       |       |              |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| 1  | 1     | 0,847 | 0,784 | 0,777 | 0,843 | 0,843 | <b>0,856</b> | 0,856 | 0,843 | 0,855 |
| 2  | 0,847 | 1     | 0,781 | 0,781 | 0,847 | 0,848 | 0,849        | 0,849 | 0,844 | 0,848 |
| 3  | 0,784 | 0,781 | 1     | 0,710 | 0,769 | 0,765 | 0,779        | 0,779 | 0,765 | 0,773 |
| 4  | 0,777 | 0,781 | 0,710 | 1     | 0,769 | 0,769 | 0,782        | 0,782 | 0,763 | 0,773 |
| 5  | 0,843 | 0,847 | 0,769 | 0,769 | 1     | 0,829 | 0,837        | 0,837 | 0,826 | 0,837 |
| 6  | 0,843 | 0,848 | 0,765 | 0,769 | 0,829 | 1     | 0,839        | 0,839 | 0,828 | 0,837 |
| 7  | 0,856 | 0,849 | 0,779 | 0,782 | 0,837 | 0,839 | 1            | 1     | 0,839 | 0,851 |
| 8  | 0,856 | 0,849 | 0,779 | 0,782 | 0,837 | 0,839 | 1            | 1     | 0,839 | 0,851 |
| 9  | 0,843 | 0,844 | 0,765 | 0,763 | 0,826 | 0,828 | 0,839        | 0,839 | 1     | 0,843 |
| 10 | 0,855 | 0,848 | 0,773 | 0,773 | 0,837 | 0,837 | 0,851        | 0,851 | 0,843 | 1     |

Рис. 3. Коэффициенты корреляции, вычисленные по изображениям (рис. 2)

Результаты вычислений по энергетическим картам изображений (рис. 2) представлены на рис. 4 (построение матрицы аналогично предыдущей), где видно, что во всех из 10-ти экспериментов максимальный коэффициент (9) был найден между наиболее схожими визуально изображениями.

|    |        |               |        |               |        |               |        |        |        |        |
|----|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 1      | <b>0,9875</b> | 0,9833 | 0,9598        | 0,9793 | 0,8751        | 0,9819 | 0,9819 | 0,9716 | 0,7736 |
| 2  | 0,9875 | 1             | 0,9843 | 0,9682        | 0,9811 | 0,9014        | 0,9824 | 0,9824 | 0,9855 | 0,7993 |
| 3  | 0,9833 | 0,9843        | 1      | <b>0,9853</b> | 0,9872 | 0,9124        | 0,9882 | 0,9882 | 0,9779 | 0,7858 |
| 4  | 0,9598 | 0,9682        | 0,9853 | 1             | 0,9911 | 0,9591        | 0,9908 | 0,9908 | 0,9733 | 0,8665 |
| 5  | 0,9793 | 0,9811        | 0,9872 | 0,9911        | 1      | <b>0,9938</b> | 0,9874 | 0,9874 | 0,9767 | 0,8523 |
| 6  | 0,8751 | 0,9014        | 0,9124 | 0,9591        | 0,9938 | 1             | 0,9400 | 0,9400 | 0,9164 | 0,9399 |
| 7  | 0,9819 | 0,9824        | 0,9882 | 0,9908        | 0,9874 | 0,9400        | 1      | 1      | 0,9815 | 0,8583 |
| 8  | 0,9819 | 0,9824        | 0,9882 | 0,9908        | 0,9874 | 0,9400        | 1      | 1      | 0,9815 | 0,8583 |
| 9  | 0,9716 | 0,9855        | 0,9779 | 0,9733        | 0,9767 | 0,9164        | 0,9815 | 0,9815 | 1      | 0,9915 |
| 10 | 0,7736 | 0,7993        | 0,7858 | 0,8665        | 0,8523 | 0,9399        | 0,8583 | 0,8583 | 0,9915 | 1      |

Рис. 4. Коэффициенты корреляции, вычисленные по энергетическим картам

Анализ результатов экспериментов (рис.3, 4) позволяет сделать вывод, что для визуально схожих текстурных изображений переход к энергетическим картам существенно увеличивает коэффициент корреляции, а, следовательно, подчеркивает текстурные особенности изображений и позволяет обнаружить схожесть текстур.

Метод сегментации на базе энергетических характеристик Лавса достаточно объемный, что сказывается на его быстродействии. Как говорилось выше, он состоит из следующих этапов: получения энергетических характеристик (устранение влияния интенсивности, обработка масками, подсчет энергетических карт) и разделения изображения на области с похожими энергетическими характеристиками (на основе критерия (6)). Было выдвинуто предположение о том, что не все этапы метода необходимы, и для улучшения быстродействия каким-то этапом или этапами можно пренебречь. Было решено провести оценку влияния этапов на конечную сегментацию.

На первом шаге алгоритмов, построенных на базе энергетических характеристик Лавса, предлагается устранить влияние интенсивности освещения.

Был проведен ряд экспериментов с программной моделью, в которых энергетические карты тестовых изображений вычислялись с использованием первого шага и без него. Результаты сегментации представлены на рис. 5.

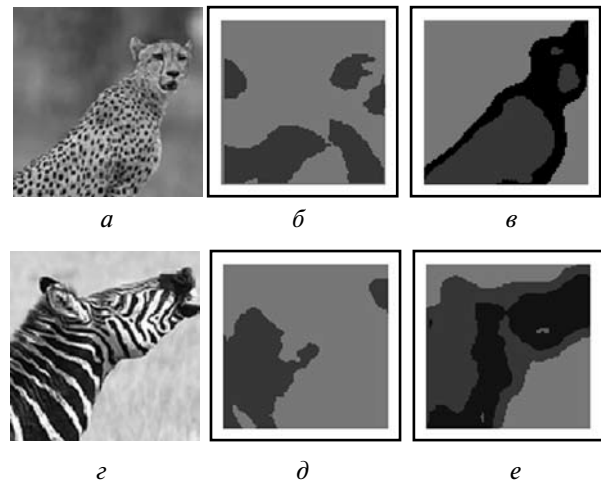


Рис. 5. Результаты поточечной сегментации:  $a, г$  – исходное изображение;  $б, д$  – сегментация без устранения влияния интенсивности освещения, порог  $\delta = 80$ ;  $в, е$  – сегментация с устранением влияния интенсивности освещения, порог  $\delta = 80$

Визуальный анализ полученных результатов показал, что устранение влияния интенсивности освещения на первом этапе обработки изображения методом энергетических характеристик является необходимым, так как изменение освещения визуально схожих текстур серьезно влияет на значения характеристик Лавса и текстуры относятся к разным классам. Данный шаг позволяет уравнивать энергетически все сравниваемые изображения, оставляя для дальнейшего исследования информацию о текстуре.

Также был исследован вопрос о необходимости перехода от отфильтрованных изображений к энергетическим картам, которые являются усреднением результатов обработки изображения масками. Для этого были проведены следующие эксперименты: сегментация тестовых изображений проводилась на основе обработанного масками изображения и на основе энергетических карт. Результат сегментации одного из изображений представлен на рис. 6.

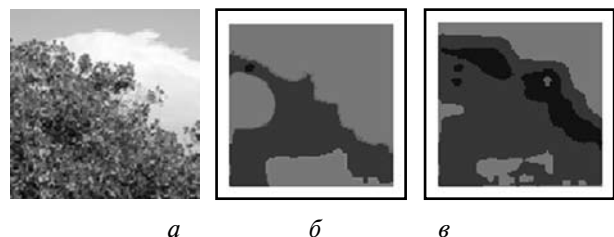


Рис. 6. Результаты поточечной сегментации:  $a$  – исходное изображение;  $б$  – сегментация на основе обработанного масками изображения, порог  $\delta = 80$ ;  $в$  – сегментация с использованием энергетических карт, порог  $\delta = 80$

Проведенные эксперименты показали, что переход от отфильтрованных изображений к энергетическим картам позволяет лучше учитывать текстурные особенности изображений, так как на значение каждой точки энергетической карты влияют отфильтрованные значения точек ее окрестности.

Следовательно, этап перехода от отфильтрованных изображений к энергетическим картам, как и этап устранения интенсивности освещения, является необходимым для построения описания текстуры изображения и применения такого описания для решения задачи сегментации.

Был посчитан коэффициент качества сегментации текстурных изображений с помощью рассматриваемого метода. Коэффициент вычислялся как отношение площади правильно сегментированных объектов к их реальной площади. Например для поточечной сегментации усредненный коэффициент качества составил 0,78. Таким образом, эксперименты по оценке качества сегментации показали целесообразность применения характеристик Лавса в решении многих практических задач, требующих проведения сегментации. Однако для повышения качества требуются дальнейшие исследования в условиях сложных яркостных и геометрических искажений, наличие которых существенно влияет на результат сегментации.

### Выводы

Анализ энергетических характеристик Лавса показал целесообразность использования данных характеристик для решения задачи сегментации изображений с ярко выраженной текстурой.

В отличие от других методов обработки текстурных изображений, например, метода матриц совпадений, где сегментация изображения проводится путем разбиения изображения на схожие фрагменты фиксированного размера и формы [6], с помощью предлагаемого метода сегментацию можно проводить как фрагментарно, так и поточечно.

Преимуществом использования обладает поточечная сегментация на основе энергетического

метода Лавса, поскольку форма сегментированных объектов максимально приближена к реальной. Однако быстродействие поточечной сегментации ниже, чем у сегментации фрагментами на базе характеристик Лавса и сегментации методом матриц совпадений. Это объясняется тем, что в этом случае сравниваются векторы признаков для каждой точки, а в случае сегментации фрагментами сравниваются векторы, описывающие фрагменты. Количество сравнений при этом меньше в  $MN / mn$  раз, где  $M, N$  – вертикальный и горизонтальный размеры всего изображения;  $m, n$  – вертикальный и горизонтальный размеры фрагмента изображения соответственно.

В данной работе не был рассмотрен вопрос сегментации текстурных изображений методом характеристик Лавса в условиях геометрических искажений, что будет являться объектом последующих исследований. Также требует дальнейших исследований вопрос сегментации текстурных изображений при наличии сложных яркостных искажений.

**Список литературы:** 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с. 2. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение: Пер. с англ. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 3. *Путятин Е.П., Панченко Д.С.* Сравнительный анализ методов сегментации изображений // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 4 (9). – С. 109-114. 4. *К. Laws.* Textured Image Segmentation, Ph.D. Dissertation, University of Southern California, January 1980. 5. *К. Laws.* Rapid texture identification. // In SPIE Image Processing for Missile Guidance. – 1980. – Vol. 238. – P. 376-380. 6. *Форсайт, Давид А., Понс, Жан.* Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с. 7. *Яковлева Е.В., Кускова И.В.* Исследование результатов сегментации изображений методом матриц совпадений // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. тр. Тематич. выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 39. – С.164-171. 8. *Ковалевский В.А.* Методы оптимальных решений в распознавании изображений. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

Поступила в редколлегию 26.10.2007

УДК. 681.3.016



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GRID-КОНЦЕПЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СРЕДЕ

О.С. Богуш

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, olessya.bogush@gmail.com

В данной статье рассмотрены принципы построения распределенных баз данных в информационно-обучающей среде на основе совмещения модели клиент-сервер и технологии Grid. Предложены концепция распределенной базы данных в информационно-обучающей среде, выбрана архитектура программного обеспечения и метод распределения информации по вторичным серверам распределенной базы данных.

GRID-ТЕХНОЛОГИИ, ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩАЯ СРЕДА, МОДЕЛЬ «КЛИЕНТ-СЕРВЕР», РАСПРЕДЕЛЕННАЯ БАЗА ДАННЫХ

### Введение

При синтезе информационно-обучающей среды (ИОС) рано или поздно встает вопрос о способе хранения большого количества оцифрованных видеоданных, используемых в качестве учебных фильмов, видеолекций и т. д. Кроме того, возникает еще одна задача, которую невозможно решить одновременным наращиванием объема дискового пространства сервера. Речь идет об ограниченности выходного канала, через который пользователи ИОС получают видеоданные. Стандартной в настоящий момент является пропускная способность 100 Мбит/с. Если исходить из необходимости транслировать качественные видеофильмы в стандарте DVD (скорость передачи 22 Мбит/с) или MPEG (1 Мбит/с), то в первом случае уже пять пользователей, одновременно просматривающих видеофильмы, исчерпают лимит пропускной способности выходного канала сервера [1]. В этом случае исключается возможность доступа даже к текстовым материалам меньшего объема, но хранящимся на сервере. Во втором случае количество параллельных выходных видеопотоков на порядок больше, но резко падает показатель доступности сервера.

Обе вышеописанные проблемы — недостаточность дискового пространства и низкая пропускная способность выходного канала сервера — можно решить, если создать распределенную базу данных. При наличии специального программного обеспечения можно организовать множество параллельных синхронизированных по времени видеопотоков от различных источников к одному получателю. При этом проблема ограниченной пропускной способности выходного канала сервера не существенна, поскольку параллельные видеопотоки будут передаваться по разным линиям связи. При таком способе организации хранения данных необходимость наличия центрального сервера по-прежнему остается, но нагрузка на него значительно сократится, следовательно, вероятность доступности для новых запросов останется на высоком уровне.

Сегодня в самых разных организациях сосредоточено много вычислительных средств, которые реализуют различные задачи, однако, не используют всей своей мощности. Эти терминалы размещены в различных местах и выполняют разные приложения, используют средства хранения информации и различные системы доступа. С другой стороны существует ряд задач глобального масштаба, для решения которых применяются большие вычислительные мощности, которые необходимо распараллеливать. Эти предпосылки привели к появлению Grid-технологий. Grid-технологии рассматриваются в контексте консолидации не только вычислительных средств, но и всей совокупности вычислительных ресурсов. В распределенных приложениях необходимо решать проблему минимизации объема передаваемых данных, поэтому применение Grid-технологий охватывает не только компьютерные мощности, но и ресурсы средств хранения информации [2, 3].

### 1. Постановка задачи

Основная задача, решаемая в Grid — обеспечение доступа к ресурсам, а поскольку ресурсы распределенные, то функционирование обеспечивается специальной формой программного обеспечения — службами. В отличие от модели «клиент-сервер» набор служб устанавливается на каждом информационном ресурсе. Множество служб должно удовлетворять следующим ограничениям:

— каждый тип служб должен иметь стандартный протокол доступа, в соответствии с которым реализуется прикладной интерфейс клиентов. В рамках стандартных протоколов допустимы различные способы реализации служб;

— множества служб на различных ресурсах должны быть согласованными. Это предполагает унификацию наборов служб на основе тождественности их семантики, а также наличие общих правил, регламентов и организационных соглашений, на которые опирается конфигурирование служб.

Успех Grid-проекта должны обеспечивать следующие службы и соответствующие протоколы:

- протокол доступа к управлению ресурсами, который обеспечивает безопасное создание удаленных процессов и управление ими;
- служба метакаталогов, отвечающая за распределенный сбор данных и информационное обслуживание;
- служба инфраструктуры безопасности, поддерживающая однократную регистрацию, делегирование полномочий и отображение прав доступа на различные локальные системы.

Работы в области Grid направлены сегодня на существенное расширение состава служб, однако, для этой задачи необходима поддержка архитектуры служб.

## 2. Архитектура программного обеспечения

Сегодня ведущие мировые компании, такие как IBM, Sun Microsystems, HP, Oracle активно развивают решения для Grid. Они предлагают близкие по смыслу стратегии развития, направленные на значительную реструктуризацию корпоративной информационной инфраструктуры.

В Hewlett Packard была разработана специальная концепция UDC (Utility Data Center), обеспечивающая минимальную нагрузку на средства передачи данных, решающая проблему защиты и распараллеливания БД и т.д. Базовым программным обеспечением Grid и международным стандартом де-факто является Globus.

## 3. Концепция распределенной базы данных в информационно-обучающей среде

В предлагаемом подходе к реализации распределенной базы данных совместно используется модель «клиент-сервер» и концепция Grid.

Реализация концепции Grid предполагает, что каждый из компьютеров, входящих в локальную сеть, одновременно является и клиентом — компьютером, запрашивающим ресурсы, и сервером, предоставляющим ресурсы. Такие серверы можно назвать вторичными, чтобы не путать с центральным сервером. Клиентская часть доступна владельцу персонального компьютера (ПК), а серверная часть доступна только для РБД.

Таким образом, реализация концепции Grid предполагает наличие трех сущностей:

- 1) центральный сервер;
- 2) вторичный сервер;
- 3) клиент.

В функции центрального сервера входят:

- хранение информации о месторасположении видеофрагментов на вторичных серверах;
- предоставление по требованию клиента сведений о месторасположении фрагментов одного видеофайла.

Функциями вторичного сервера являются:

- хранение видеофрагментов;
- организация выходного видеопотока по запросу клиента и передача требуемого видеофрагмента;
- организация входного видеопотока по запросу клиента и сохранение видеофрагмента.

Клиент здесь взаимодействует с серверами с целью сохранения или получения видеофайлов.

Реализованную в РБД модель «клиент-сервер» можно описать следующим образом: клиентом является компьютер, запрашивающий видеофайл, а серверами — центральный сервер, содержащий информацию о местоположении фрагментов требуемого видеофайла, и вторичные серверы, содержащие сами фрагменты.

Протокол взаимодействия клиента и серверов в простейшем варианте можно описать следующим образом: клиент запрашивает у центрального сервера данные о месторасположении фрагментов того или иного видео. После получения необходимой информации от центрального сервера клиент организует соединения с теми вторичными серверами, где хранятся фрагменты видео, после чего параллельно с получением видеоданных проигрывает видео.

## 4. Распределение видеофрагментов по вторичным серверам

Использование РБД может позволить эффективно создавать и впоследствии управлять распределенной базой данных видеофрагментов. Вся информация о видеофрагментах, а также сами видеофрагменты будут храниться в логически единой, но физически распределенной базе данных. Основная информация, необходимая для отклика на запрос видеофайла, должна находиться на центральном сервере, а сами видеофрагменты будут находиться на вторичных серверах.

Центральный сервер должен хранить следующие данные для распределенной записи/чтения фрагментов:

- нумерацию сетевых устройств (коммутаторов, маршрутизаторов);
- нумерацию вторичных серверов;
- нумерацию магистральных сегментов в каждой зоне, разделяемых сетевыми устройствами (коммутаторами, маршрутизаторами);
- соответствие между номером сетевого устройства и номером вторичного сервера;
- нумерацию зон сети (ветвей сети от центра — считая центром центральный сервер);
- количество магистральных сегментов на одну копию фрагмента видеозаписи (зависит от коэффициента доступности (дублирования));
- идентификатор фрагмента;

- идентификатор файла;
- номер фрагмента в наборе фрагментов одной видеозаписи;
- описание фрагмента;
- размер фрагмента в байтах;
- продолжительность фрагмента в секундах;
- таймаут обращения к вторичному серверу (зависит от размера фрагмента в секундах), по истечении которого клиент обращается за чтением фрагмента к центральному серверу.

Прежде чем видеофайлы смогут быть доступны для просмотра, они должны быть разбиты на фрагменты и распределены по вторичным серверам в соответствии с установленными требованиями.

Требования к разбиению и распределению видеофайлов на фрагменты:

1. Размер фрагмента видеофайла должен быть определен путем создания экспериментальных видеосетей, однако, в качестве исходного значения может быть выбрана цифра, пропорциональная значениям, используемым в отработанной технологии, реализованной в системах IP-телефонии (3 КБайт).

2. Фрагменты видеофайла должны быть распределены по вторичным серверам таким образом, чтобы фрагменты с последовательными номерами не находились на одном и том же вторичном сервере. Удовлетворение данного требования позволит временно освобождать вторичный сервер для отклика на другие запросы.

3. Фрагменты видеофайла со стартовыми номерами должны находиться на наиболее доступных для большинства пользователей вторичных серверах, для того чтобы пользователь, запросивший тот или иной файл, смог максимально быстро начать его просмотр. Остальные фрагменты клиент будет получать параллельно с просмотром файла.

4. Желательно, чтобы каждый фрагмент видеофайла имел такое количество копий на вторичных серверах, чтобы в любой момент времени необходимая копия фрагмента была доступна для получения хотя бы с одного из вторичных серверов. Кроме того, копии всех фрагментов должны храниться на центральном сервере на тот случай, если при необходимости получения фрагмента он не будет доступен ни на одном из вторичных серверов.

Для разбиения фрагментов с последующим их распределением по вторичным серверам необходимо создать метод, учитывающий перечисленные выше требования. Кроме того, при построении метода распределения видеофрагментов по вторичным серверам необходимо учитывать еще множество вариантов. Например должна ли система при получении видеофайла на хранение сразу же разбить его на фрагменты или разбивать на фрагменты

нужно только при первом запросе данного файла от клиента? Нужно ли оставлять копии фрагментов на центральном сервере или хранить их нужно только на вторичных серверах? Нужно ли удалять редко используемые фрагменты с вторичных серверов для освобождения там места для более часто запрашиваемой информации?

Таким образом, метод распределения видеофрагментов должен определять следующее:

- количество фрагментов, на которые необходимо разбить файл (зависит от количества вторичных серверов в локальной сети, от размера видеофайла, от размера метаданных, от типа и конфигурации локальной сети);
- количество копий одного и того же фрагмента и их месторасположение;
- необходимость хранения дубликата каждого фрагмента на центральном сервере.

Все эти варианты необходимо рассмотреть с точки зрения их целесообразности в той или иной ситуации, при наличии тех или иных характеристик используемой распределенной базы данных.

Для нормальной работы коммутатора требуется отсутствие замкнутых маршрутов в сети. Эти маршруты могут создаваться администратором специально для образования резервных связей или же возникать случайным образом, что вполне возможно, если сеть имеет многочисленные связи, и кабельная система плохо структурирована или документирована [4].

Получившееся разбиение вторичных серверов по зонам учитывается затем при распределении стартовых видеофрагментов. Стартовые видеофрагменты размещаются в наиболее доступных зонах, для того чтобы пользователи могли максимально быстро начать просмотр запрошенного видеофайла.

В процессе функционирования системы вторичные серверы должны обмениваться служебными пакетами, для того чтобы удостовериться в доступности друг друга. Если возникает ситуация, когда ранее доступный сервер становится недоступным, необходимо вновь запускать процедуру определения зон. Данная процедура может быть инициирована со вторичных серверов, а также центральным сервером.

### Выводы

В области дистанционного обучения уже сегодня Grid-технологии заслуживают пристального внимания. Разработанные на данный момент принципы в рамках Grid-технологий позволяют решать задачи, связанные с распределенным хранением и оперативной доставкой мультимедийных данных большого объема пользователям информационно-обучающей среды. Для пользователей инфор-

мационно-обучающей среды всегда важно, чтобы центральный сервер был максимально доступен для новых запросов, которые не всегда связаны с необходимостью просмотра видеороликов или прослушивания звукозаписей. Поскольку передача всего лишь нескольких видео- и аудио-поток может полностью занять выходной канал центрального сервера, его необходимо максимально разгрузить, а этого можно добиться, распределив мультимедийные данные на вторичных серверах. В этом случае выходной канал центрального сервера всегда будет открыт для новых запросов, а параллельная передача нескольких видеопотоков от многих источников к одному получателю значительно увеличит скорость получения запрошенных пользователем видеоданных.

При распределении видеофрагментов по серверам стартовые фрагменты каждого видеофайла имеет смысл размещать на наиболее доступных вторичных серверах, для того чтобы максимально сократить время ожидания начала проигрывания файла на клиенте.

Рассмотренные в статье принципы распределения данных позволяют значительно сократить нагрузку на центральный сервер, распределив не только данные, но и потоки передачи данных. Однако для снижения нагрузки на центральный сервер не

обязательно организовывать параллельную передачу видеопотоков от нескольких источников к одному получателю, что связано с необходимостью создания сложного программного обеспечения. Достаточно оформить видеофрагменты одного видеофайла, распределенные по вторичным серверам, в формате потокового видео и передать пользователю файл, содержащий ссылки на эти фрагменты. В этом случае центральный сервер также не будет занят передачей видеопотоков, а задержки при получении видеофайла пользователем будут незначительны, поскольку потоковое видео начинает проигрываться сразу же при получении первых кадров. Перспективными остаются задачи проектирования информационной структуры центрального и периферийных серверов, а также организации информационного обеспечения системы распределенных ресурсов.

**Список литературы:** 1. В.Л. Коваленко, Д. М. Корягин. Эволюция и проблемы Grid // Открытые системы. — 2003. — № 1. — С. 23-26. 2. Н.И. Дуброва. Учет и контроль для «коммуникационных вычислений» // Новые технологии. — 2004. — № 1. — С. 74-78. 3. П. Анни. Этот Grid — непрост...// Открытые системы. — 2005. — № 4. — С. 45-56. 4. Копьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб.: Питер, 2002. — 346 с.

*Поступила в редколлегию 29.10.2007*



УДК 621.301

## УСТРОЙСТВО И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ БИОТРОПНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СОИ

Н.Г. Косулина

ХНТУСХ имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

Предложена программная обработка газоразрядной визуализации сои на основе эффекта Кирлиан после предпосевной обработки семян электромагнитным полем крайневисокочастотного диапазона. Приведены конструкция устройства газоразрядной визуализации и параметры, которые используются для анализа короны.

ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ КРАЙНЕВИСОКОЧАС-  
ТОТНОГО ДИАПАЗОНА, ЭФФЕКТ КИРЛИАН, ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН

### Введение

Изучение механизма действия низкоэнергетического поляризованного электромагнитного поля на биологические объекты растительного происхождения с определением оптимальных параметров электромагнитного поля (ЭМП) для предпосевной обработки семян привело к необходимости проверки достоверности теоретических подходов и моделей, описывающих процесс воздействия ЭМП на семена сельскохозяйственных культур, а также подтверждения возможности практической реализации электронных устройств на основе эффекта Кирлиан и применение их для определения оптимальных биотропных параметров ЭМП с целью получения намеченного биологического эффекта.

### 1. Постановка задачи исследования

В результате теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец устройства для газоразрядной визуализации (ГРВ) семян зерновых культур после обработки их низкоэнергетическим поляризованным ЭМП крайневисокочастотного (КВЧ) диапазона (рис. 1).

Установка состоит из фотографической ячейки 2, нижняя и верхняя части которой имеют плоские металлические электроды 4, на которых размещаются плоские диэлектрические пластины 5, фотокамеры 3, высоковольтный генератор 6, микроамперметр 7, компьютер 8, кабель интерфейса 9.

Биологический объект растительного происхождения 1 помещается в фотографическую ячейку 2, которая представляет собой светонепроницаемую камеру с обкладками конденсатора круглой формы. Через соединительную муфту встроена фотокамера 3. Нижняя часть ячейки, как и ее верхняя часть, состоит из плоских металлических электродов 4, на которые помещены плоские диэлектрические пластины 5, диаметр обкладок составляет 70 мм, а емкость конденсатора 6,7 пФ. Электроды присоединены к высоковольтному генератору 6.

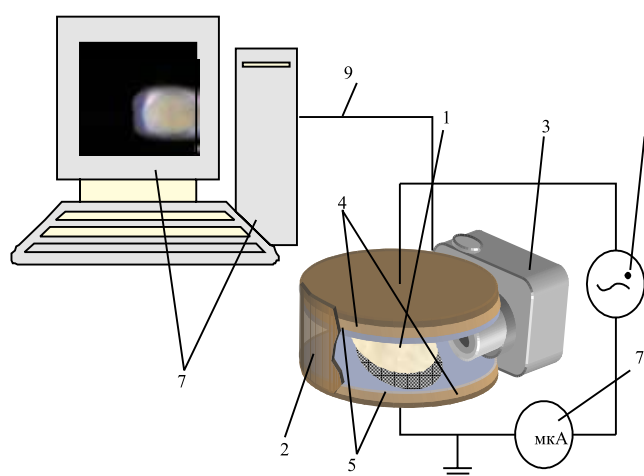


Рис. 1. Устройство ГРВ

Для регистрации электрических величин, а именно тока разряда, имеется микроамперметр 7. Тогда в считанные секунды фотоотклик биологического объекта по кабелю интерфейса 9 с использованием программного обеспечения передается на компьютер 4, где и происходит сравнительная оценка газоразрядной визуализации биологического объекта растительного происхождения с учетом величины тока разряда.

Основная задача статьи — определение оптимальных параметров низкоэнергетического поляризованного электромагнитного крайневисокочастотного диапазона для предпосевной обработки семян зерновых культур на основе обработки полученных изображений с помощью газоразрядной визуализации.

Съемки сои, с увеличением до 100х, показали, что при лавинной газоразрядной визуализации изображение состоит из отдельных точек (элементов разложения изображения), а картина формируется за счет неравномерности распределения этих точек по полю фотографии.

Отдельный элемент разложения образуется в результате воздействия на диэлектрик локальной

электронной лавины, развивающейся при достаточно высокой напряженности электрического поля из отдельных точек поверхности исследуемого объекта благодаря наличию фоновых или эмитированных объектом заряженных частиц. Время жизни такой электронной лавины лежит в пределах (10<sup>-7</sup> – 10<sup>-8</sup> с), так как в процессе ее развития на диэлектрической поверхности носителя изображения накапливается отрицательный заряд, экранирующий электрическое поле в районе лавины и снижающей его напряженность до величины, недостаточной для дальнейшего развития разрядного процесса.

При перемене полярности внешнего напряжения накопленный на диэлектрике заряд нейтрализуется, и весь процесс периодически повторяется. Изображение объекта формируется в том случае, когда вероятности возникновения лавин у разных точек его поверхности существенно различаются, например, из-за поверхностной неоднородности эмиссионных свойств объекта, либо локального возмущения электрического поля на микронеровностях металлической поверхности или включениях в толще диэлектрика. В тех точках, у которых эта вероятность больше, образуется большее число более интенсивных лавин, и элементы разложения, сливаясь, образуют светлые участки изображения. При поверхностной газоразрядной визуализации разряд возникает от поверхности объекта вдоль поверхности диэлектрической пластины.

Поверхностная визуализация сои при этом весьма сложна, поэтому для выявления информации об исследуемом объекте следует в первую очередь выявить параметры разряда, поддающиеся количественным оценкам.

## 2. Описание используемых параметров

Как показывает анализ литературы о методах и способах обработки визуальной информации различных биологических объектов [1–9], к ним могут быть отнесены следующие параметры:

- параметры, характеризующие разрядные треки: длина, количество, степень разветвленности и т. п.;
- параметры, характеризующие форму разрядной фигуры: радиус, общая площадь, симметрия, фрактальная размерность и т. п.;
- ток разряда;
- интенсивность свечения разряда;
- спектральный состав излучения.

Для осуществления данной цели рассматриваются следующие параметры, которые используются для анализа короны.

1. Площадь изображения короны:

$$S = \sum_x \sum_y p_{ij},$$

где  $p_{ij} = 1$ , если  $b(ij) \leq q$  и  $p_{ij} = 0$ , если  $b(ij) > q$ ;

$b(ij)$  – яркость двух смежных точек;  $q$  – пороговое значение фона;  $p$  – участок изображения.

2. Плотность изображения: отношение площади изображения свечения  $A = |a(x, y)|$  к общей площади региона, включающего в себя изображение  $B = |b(x, y)|$ .

Плотность изображения  $D$  вычисляется, как:

$$D = \frac{\sum_{i \in A} p_i}{\sum_{i \in A} S_i},$$

где  $p_i = 1$ , если  $a(x, y) \leq L$ ;  $p_i = 0$ , если  $a(x, y) > L$ ;  $L$  – пороговое значение фона;  $S_i = 1$  для всех  $i \in A$ .

3. Длина периметра изображения. Для вычисления этого параметра реализовано два подхода:

– площадь разностной фигуры, образуемой при сдвиге исходного изображения на один пиксель по всем координатам;

– длина огибающей развертки изображения.

4. Яркость изображения короны:

$$PJ = \frac{\sum_{i=0}^n d[i]i}{\sum_{i=0}^n d[i]},$$

где  $d[i]$  – количество пикселей изображения, для которых  $b(x, y) = i, i \in (0, 250)$ .

5. Ширина яркостного спектра изображения короны:

$$LJ = K - N,$$

где  $K = \max\{b_i(x, y)\}$  для всех  $i$ , принадлежащих области изображения.

6. Коэффициент формы:

$$q = L^2/S,$$

где  $L$  – длина периметра изображения свечения;  $S$  – общая площадь изображения свечения.

## 3. Описание программы для анализа газоразрядной визуализации

Все вышеперечисленные алгоритмы реализованы в виде программных процедур и объединены в библиотеку операций обработки и анализа отклика биообъекта.

Аппаратная часть газоразрядной визуализации семян позволяет получать одиночные (покадровые) изображения или последовательности изображений (кадров) ГРВ – грамм в реальном масштабе времени и запоминать их в виде *ВМР-формата*.

Инструмент анализа ГРВ отклика биологического объекта состоит из следующих блоков:

1) инструмент для базы данных отклика (изображений) биологических объектов, которая включает в себя следующие элементы:



- база данных откликов биологических объектов;
- база данных биотропных параметров ЭМП при предпосевной обработке семян;
- база данных результатов анализа ГРВ – грамм биологических объектов.

Данный инструмент многопараметричный, позволяющий сделать выбор по параметрам, которые используются для анализа в любой последовательности;

2) инструмент для анализа параметров, указанных выше, с возможностью обработки их изображений в автоматическом режиме и ручном;

3) инструмент для проведения анализа отклика в заданном диапазоне яркостного спектра, в заданном диапазоне яркостного канала R, G, B;

4) инструмент для очистки шума.

Программа для анализа ГРВ отклика биологического объекта предназначена для создания, изменения, анализа и принятия решения по определению оптимальных биотропных параметров ЭМП для предпосевной обработки семян зерновых культур. Приложение разработано для операционных систем Microsoft® Windows® XP, 2003. Обработка возможна для изображений в формате \*.bmp (24 bit), ширина, высота и разрешение изображений должны быть идентичны для исследуемого набора экспериментов.

Главная форма представлена на рис. 2. Слева от вертикальной линии расположена таблица с исходными изображениями и параметрами эксперимента. Правее от вертикальной линии расположены результаты программного анализа ГРВ короны. Активная запись выделяется фоном темного цвета. Справа сверху расположены предпросмотры фактических изображений объекта до облучения и после облучения ЭМП, ниже представлены параметры эксперимента для активной записи, а именно: уникальный номер эксперимента, тип поляризации, плотность потока мощности, экспозиция, частота ЭМП, нестабильность частоты и ток.

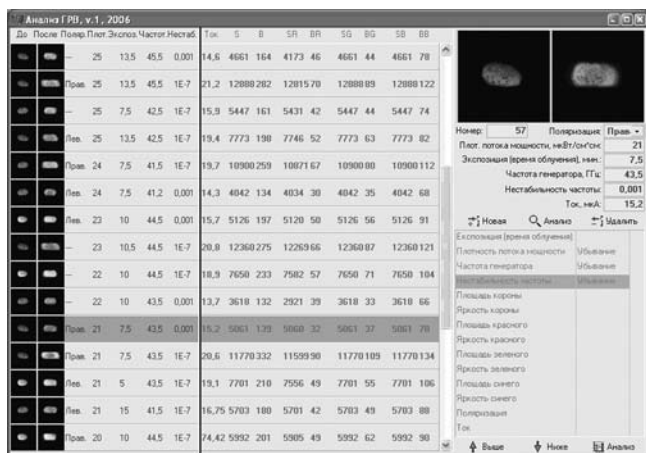


Рис. 2. Главная форма

После добавления всех остальных экспериментов можно приступить к программному анализу изображений. В открывшейся форме управления анализом ГРВ короны (рис. 2) используем кнопку «Анализ» из категории «До облучения».

При этом выполняется обработка с расчетом площади изображения, статистической обработки массива пикселей и получением минимальной, максимальной яркости (границ яркостного спектра) и среднего значения яркости (которые указаны как  $S$ ,  $b_{min}$ ,  $b_{max}$  и  $b_{mean}$ ).

Далее, используя кнопку «Выборка», получаем гистограммы распределения яркости изображения (рис. 3). Внизу формы показана шкала яркостей и графическое представление количества пикселей, соответствующее определенной яркости и представленное в виде черных вертикальных тонких линий. Справа серым цветом выделена зона яркости, количество пикселей для которой соответствует нулю. Значение максимальной яркости объекта указано справа внизу. Слева серым цветом выделена зона яркостного спектра, пиксели которой мы считаем фоном изображения (которые не являются пикселями объекта). Значение минимальной яркости объекта указано слева снизу. Манипулируя значениями минимальной и максимальной яркости, мы можем точнее обработать изображения с сильным уровнем шумов или анализировать корону на самом объекте. Вертикальная пунктирная полоса означает среднее значение яркости изображения.

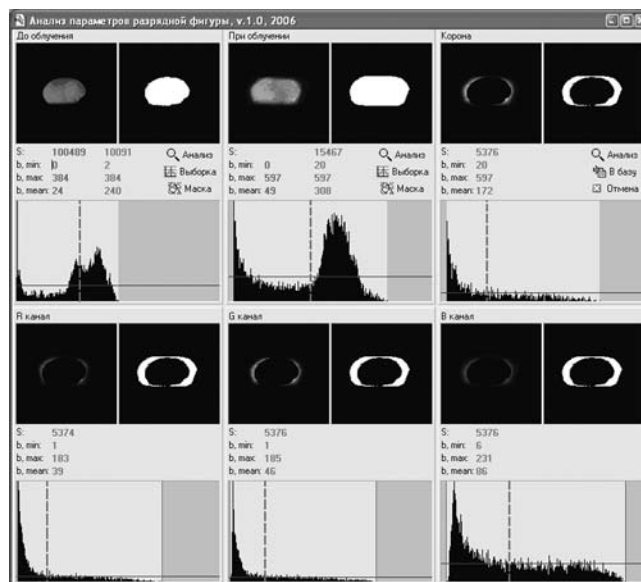


Рис. 3. Форма управления анализом ГРВ короны

После определения вышеуказанными методами зоны изображения объекта необходимо убрать оставшиеся шумы, используя кнопку «Маска». Шумы (рис. 4) (выделенные белым цветом) будут удалены.

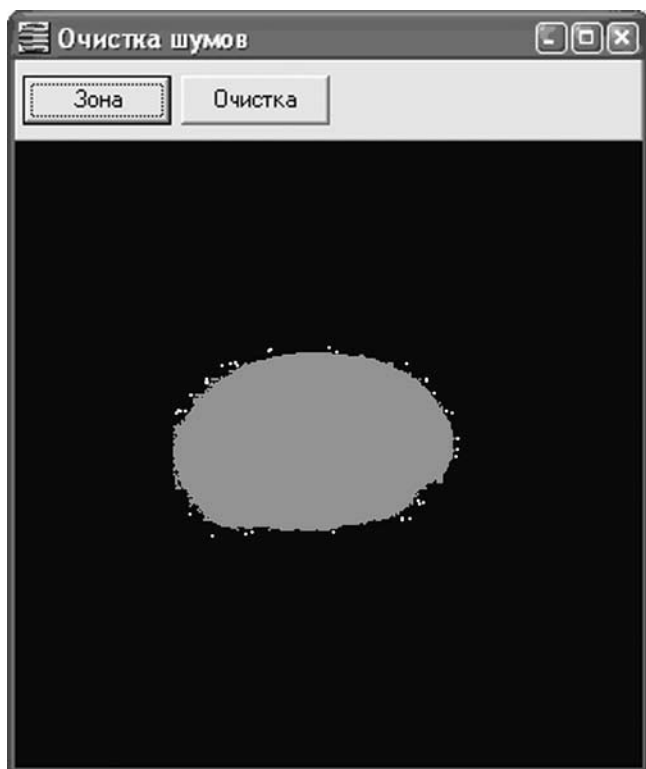


Рис. 4. Автоматическая очистка от шума

После выполнения вышеуказанных операций в категории «До облучения» получим маску формы объекта и соответствующие ей  $S$ ,  $b_{\min}$ ,  $b_{\max}$  и  $b_{\text{mean}}$ , которые указаны серым цветом. Ниже находится гистограмма распределения яркости для объекта.

Аналогично обрабатывается изображение ГРВ объекта в категории «После облучения». В результате имеем набор характеристик маски объекта и маски объекта с разрядной короной. Используя кнопку «Анализ» в категории «Корона», запускаем процесс анализа параметров короны. После окончания анализа получаем характеристики и гистограммы распределения яркости короны как для полного цветового спектра, так и для отдельных цветовых каналов. Используя кнопку «В базу», результаты анализа параметров короны фиксируем в БД для данного эксперимента.

Для принятия решений относительно максимального отклика биологического объекта используем мастер, расположенный справа внизу (см. рис. 5). Мастер позволяет гибко манипулировать типом, приоритетом параметров и их направлением.

В данном случае в мастере параметр «Ток» имеет наивысший приоритет над остальными параметрами (расположен выше), и его значения располагаются в порядке убывания (направление «Убывание»). Второй параметр – «Площадь короны» (также «Убывание»). Остальные параметры являются неактуальными.

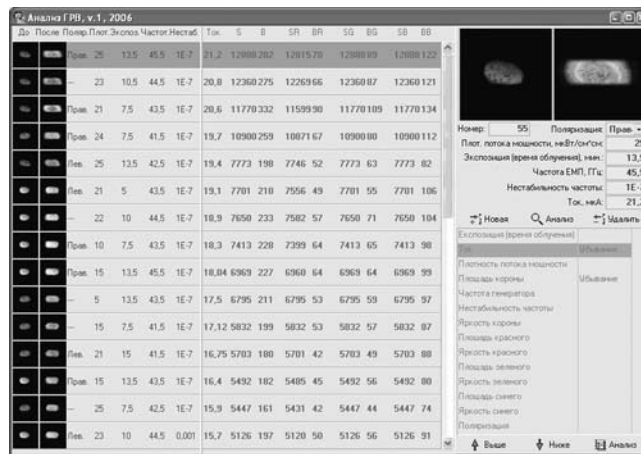


Рис. 5. Принятие решений

После нажатия кнопки «Анализ» эксперименты, расположенные в начале таблицы, будут наиболее полно соответствовать заданным параметрам, а расположенные в конце – наименее.

### Выводы

В результате проведенного анализа на основании программного обеспечения газоразрядной визуализации установлено, что для биостимуляции семян сои их предпосевную обработку следует проводить низкоэнергетическим поляризованным ЭМП КВЧ диапазона с параметрами: частота 42,2 ГГц; плотность потока мощности 15 мВт/см<sup>2</sup>; нестабильность частоты генератора 10<sup>-7</sup>; экспозиция 10мин; правая круговая поляризация.

**Список литературы:** 1. Weiss S.M., Kulikowski C.A. Computer systems that learn // Morgan Kaufmann. 1991. — 420 p. 2. Wilson L. Brown M., Talhami H., Gill R., Sun C., Dust B. Medical Image Understanding Using Anatomical Models: Application to Chest X-Rays // Information Processing in Medical Imaging (IPMI). Kluwer, 1995. — 560 p. 3. Yaglom A.M., Yaglom I.M. Probability and Information // FIZMATGIZ, Moscow 1960.

Поступила в редколлегию 30.10.2007

УДК 519.7

**Модель статики адаптации органов чуттів / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 3–14.**

В статті досліджено модель адаптації зору та її статичні реакції. Описано досліди з вивчення статикоадапційних реакцій ахроматичного зору та експерименти з статики адаптації слуху людини. Наведено побудову статичного перетворення яскравості в світлість.

Л.: 10. Табл.: 5. Бібліогр.: 15 найм.

UDC 519.7

**The model of organs of sense adaptation statics / M.F. Bondarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 3–14.**

The model of organs of sense adaptation and its statics reactions are considered in this article. Experiments of statics and adaptation reactions investigations of the achromatic vision and hearing are studied. The statics transformation building of luminosity and brightness is situated.

Fig.: 10. Tabl.: 5. Ref.: 15 items.

УДК 519.7

**Модель динаміки адаптації органів чуттів / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 15–20.**

В статті досліджені динамічні реакції моделі адаптації зору для різних видів вхідних сигналів. Наведені діаграми, які дають уявлення про характер змін яскравості та світлості зорового відчуття в часі. Наведено аналіз дослідів Кріса та формально описана виявлена залежність. Досліджені ступінчасті реакції моделі адаптації зору.

Табл.: 2. Л.: 9. Бібліогр.: 1 найм.

UDC 519.7

**The model of dynamics of sense adaptation / M.F. Bondarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 15–20.**

The model of vision adaptation dynamics reactions for different kinds of input signal are investigated in this article. The diagrams of vision luminosity and vision brightness temporal changes are situated. The analysis of Kries research and discovered dependence are situated. Lattice reactions of model of vision adaptation are investigated.

Fig.: 9. Tabl.: 2. Ref.: 2 items.

УДК 004.032.026

**Багатошарова спайк-нейронна мережа, що самонавчається / Є.В. Бодянський, А.І. Долотов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 21–26.**

У статті розглянуто архітектуру та алгоритм самонавчання нейронної мережі нового (третього) покоління — спайк-нейронної мережі. Описано спосіб популяційного кодування вхідного сигналу. Запропоновано алгоритми самонавчання шарів спайк-нейронів та радіальнобазисних нейронів. Наведено порівняльні результати вирішення задачі кластеризації зображення спайк-нейронною мережею та мапою Когонена.

Л.: 6. Бібліогр.: 18 найм.

UDC 004.032.026

**Multilayered self-organizing spiking neural network / Ye. V. Bodyanskiy, A.I. Dolotov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 21–26.**

In the article architecture and self-organizing algorithm of spiking neural network which is a neural network of new, the third generation is considered. Method for encoding input signal by population coding is described. Self-organizing algorithms of spiking neurons layer and radial-basis function neurons layer are proposed. Results of satellite image processing by spiking neural network and self-organizing map are presented.

Fig.: 6. Ref.: 18 items.

УДК 004.421

**Селективный подход к автоматизированному формированию оперативного специализированного лексикосемантического словарного ресурса / Т.Н. Заболотная // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 27–31.**

В статье предложен подход к формированию компьютерного предметноориентированного словарного ресурса путем автоматизированного упорядоченного отбора части содержимого существующего лексикосемантического словаря формата WordNet. Обоснованы этапы модификации данного универсального словаря на основании результатов анализа особенностей лексики любой сферы человеческой деятельности. По сравнению с исходным наполнением словаря содержимое подсловаря, сформированного согласно новому подходу, может быть обработано информационной системой за более короткий отрезок времени, что способствует повышению ее быстродействия в целом.

Отсутствие в специализированном словаре лексем, которые, как правило, не встречаются в тексте документов определенной тематики, позволяет улучшить показатель адекватности результатов работы программы, которая использует данный ресурс.

Ил.: 2. Библиогр.: 9 назв.

UDC 004.421

**The selective approach to the automated generating of the operative specialized lexico-semantic dictionary resource /** T. Zabolotnia // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 27–31.

In the given article the approach to the computer subject-oriented dictionary resource formation by the automated ordered selection of a part of the contained existing lexico-semantic WordNet dictionary is offered. Stages of the given universal dictionary updating on the basis of results of the features analysis of the lexicon of any human activity sphere are proved.

In comparison with initial filling the dictionary contents sub-dictionary, generated according to the new approach, can be processed by information system faster that promotes increase of its speed as a whole. Absence in a specialized dictionary of lexemes which do not meet in the documents text of the certain subjects, allows to improve a parameter of adequacy of work results of the program which uses the given resource.

Ref.: 9 items.

---

УДК 519.859

**Ф-функції для неорієнтованих кругових сегментів та базових 2D об'єктів /** К.А. Ступак, Т.Є. Романова, М.В. Злотник // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 32–36.

У статті розглядається побудова Ф-функцій для неорієнтованих кругових сегментів та базових 2D об'єктів, що є конструктивним засобом математичного моделювання задач розміщення неорієнтованих багатозв'язних об'єктів, границя яких утворена об'єднанням дуг околів і відрізків прямих.

Бібліогр.: 11 найм.

UDC 519.859

**Phi-functions for Non-oriented circular segments and primary 2D objects /** K.A. Stupak, T.E. Romanova, M.V. Zlotnik // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007.— № 2 (67). — P. 32–36.

The article considers Phi-functions for Non-oriented circular segments and primary 2D objects. The technique is a constructive tool of mathematical modeling of placement problems for Non-oriented multi-connected objects which frontier is formed by a union of circular arcs and line segments.

Ref.: 11 items.

---

УДК 519.767

**Модель розбивки множини елементів змісту багатозначних слів речення, яке перекладається, в системах автоматичного перекладу/** Н.Ф. Хайрова, Н.В. Шаронова // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 37–40.

У статті розглядується етап семантичного аналізу обробки тексту в системах машинного перекладу. Для зняття семантичної омонімії багатозначних слів речення використовується метод компараторної ідентифікації. Задача семантичного аналізу вирішується розбиттям усіх сем багатозначних слів речення на класи еквівалентності мікротем.

Л.: 3. Библиогр.: 4 найм.

UDC 519.767

**Model of splitting of set of elements of sense of multiple-valued words of the translatable sentence in the machine translation systems /** N. Khayrova, N. Sharonova // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 37–40.

The present article is on working out the stage of the semantic analysis of text processing in machine translation systems. This article reviews the method of comparative identification for removal of a semantic homonymy of multiple-valued words of the translatable sentence. The problem of the semantic analysis is solved splitting of all of multiple-valued words of the sentence on classes of equivalence to that.

Fig.: 3. Ref.: 4 items.

---

УДК 519.62

**Формалізація семантики природної мови із використанням лямбда-числення /** Г.Ф. Дюбко, Д.В. Преснякова // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 41–46.

Досліджено методи конструювання тлумачних словників природної мови і методи використання цих словників людиною в процесі виділення сенсу природно-мовних конструкцій людиною. Запропоновано формальну модель тлумачного словника, яка дозволяє формальну трансформацію природно-мовної конструкції в формулу, що подає сенс цієї конструкції.

Бібліогр.: 16 назв.

UDC 519.62

**Formalization of semantics of natural-language with use of  $\lambda$ -calculation /** G.F. Dyubko, D.V. Presnjakova // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 41–46.

The methods of designing of explanatory dictionaries of natural language and methods of use of these dictionaries by the man are investigated during allocation of sense of natural-language designs by the man. It is offered formal model of an explanatory dictionary, which allows formal transformation of a natural-language design in the formula, which represents sense of this design.

Ref.: 16 items.

---

УДК 681.5.015

**Регуляризація процедур оброблення даних в системах штучного інтелекту** / В.П. Авраменко, Н.А. Валенда // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 47–50.

В статті досліджено причини некоректності задач оброблення даних в системах контролю знань дистанційного навчання. Запропоновано процедури регуляризації (виправлення) некоректно поставлених задач оброблення даних на основі принципу зовнішнього доповнення.

Л.: 1. Бібліогр.: 4 найм.

UDC 519.7

**Regularization of data handling procedures in systems of artificial intelligence** / V.P. Avramenko, N.A. Valenda // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 47–50.

The causes of uncorrectness of data handling tasks are investigated in this article. The regularization procedures of uncorrect target setting of data handling tasks based on the principle of external compliment are proposed.

Fig.: 1. Ref.: 4 items.

---

УДК 519.859

**Стратегія розв'язання задачі покриття багатозв'язної багатокутної області** / М.В. Злотник, Г.В. Кривуля, О.В. Панкратов, Т.Є. Романова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 51–55.

У статті розглядається задача покриття багатозв'язної обмеженої багатокутної області скінченною сім'єю прямокутників. Наводиться математична модель з використанням поняття -функції. Пропонується метод розв'язання. Розглядаються приклади.

Табл.: 1. Л.: 10. Бібліогр.: 10 найм.

UDC 519.859

**Solution strategy for a covering problem of a multiconnected polygonal region** / M.V. Zlotnik, A.V. Krivulya, A.V. Pankratov, T.E. Romanova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 51–55.

The article considers a covering problem of a multiconnected bounded polygonal region by a finite family of rectangles. A mathematical model of the problem is discussed based on -function technique. A solution approach is provided and some examples are given.

Fig.: 10. Tab.: 1. Ref.: 10 items.

---

УДК 004.89

**Порівняльний аналіз імунного та генетичного алгоритмів в задачах оптимізації нелінійних функцій** / М.М. Корабльов, І.В. Овчаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 56–60.

В роботі проведено порівняльний аналіз імунного алгоритму, що базується на принципі клонального відбору і теорії імунної мережі, та простого генетичного алгоритму для задач глобальної та мультимодальної оптимізації нелінійних функцій декількох змінних. Наведено ефективність застосування імунного алгоритму для знаходження глобальних та локальних екстремумів в задачах мультимодальної оптимізації. Розглянуто обчислювальну складність приведених алгоритмів.

Табл.: 2. Л.: 5. Бібліогр.: 4 найм.

UDC 004.89

**Benchmark analysis of immune and genetic algorithms in problems of Nonlinear function optimization** / N.M. Korablev, I.V. Ovcharenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. № 2 (67). — P. 56–60.

The given work explores the usage of artificial immune systems and genetic algorithms in the problem of Nonlinear function optimization. An immune algorithm based on the clonal selection principle and immune network theory is proposed and experimentally compared with a simple genetic algorithm. The comparisons are done for the tasks of global and multimodal optimization and from the computational point of view.

Tab. 2. Fig.: 5. Ref.: 4 items.

---

УДК 004.89

**Інтелектуальні методи оцінки фінансових ризиків, пов'язаних з оплатою за навчання у ВНЗ** / Н.А. Дергачова, І.В. Шостак, О.С. Топал // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 61–64.

Стаття містить постановку задачі оцінки фінансових ризиків, які пов'язані з оплатою навчання у ВНЗ. Наведено шляхи вирішення цієї задачі засобами штучного інтелекту у формі Data Mining. Показано, що центральною проблемою

застосування Data Mining у даній предметній галузі є побудова класифікатора у формі вирішального правила на основі вже класифікованих об'єктів (навчальної вибірки). Формування цієї вибірки запропоновано здійснювати за допомогою дерев рішень, розглянуто приклад використання такого підходу щодо задачі оцінки кредитоспроможності фізичних осіб.

Л.: 2. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 004.891

**Intellectual methods of estimation of financial risks, related to payment for studies in VNZ** / N.A. Dergacheva, I.V. Shostak, A.S. Topal // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 61–64.

The article contains task posing of financial risks estimation, related to payment in University. The ways of solving this task are resulted by facilities of artificial intelligence in form Data Mining. It is shown that the central problem of Data Mining application in this subject domain is a construction of classifier in form of deciding rule based on the already classified objects (educating selection). It is suggested to carry out forming of this selection with the decision trees algorithm, the example of using such approach is described in relation to the task of physical persons solvency estimation.

Fig.: 2. Ref.: 10 items.

---

УДК 519.7

**Про метод обчислення лінійних логічних перетворень** / І.Д. Вечірська // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 65–68.

Доведено теорему про загальний вигляд лінійних логічних перетворень. Проведено аналіз обчислення лінійних логічних перетворень для випадку з  $k$  змінними. Досліджено правила обчислення в залежності від загального вигляду області означення.

Бібліогр.: 10 найм.

UDK 519.7

**About method of linear logical transformations computation** / I.D. Vechirskaya // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 65–68.

The theorem on general form of linear logical transformation is proved. Computation of linear logical transformation is analyzed depending on  $k$  variables. Computations rules of definitional domain are investigated depending on general form.

Ref.: 10 items.

---

УДК 004.8

**Квантові моделі та методи інженерії знань у задачах DATA MINING** / І.В. Шевченко // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 69–72.

У статті розглядається актуальна задача інтелектуального аналізу даних (Data Mining), метою якого є виявлення в сирих даних раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних, доступних для інтерпретації знань (закономірностей), необхідних для прийняття рішень у різних сферах людської діяльності.

Розглянуто задачі інтелектуального аналізу даних, серед яких особлива увага приділяється найбільш популярним задачам класифікації та прогнозування. У статті робиться висновок про можливості використання моделей та методів інженерії квантів знань для ефективного рішення задач Data Mining.

Л.: 1. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 004.8

**Quantum models and methods of knowledge engineering are in the tasks of DATA MINING** / I.V. Shevchenko // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 69–72.

The intellectual task of intellectual analysis of information (Data Mining), the purpose of which is an exposure in raw information of the unbanal, practically useful, accessible for interpretation knowledges (conformities to the law) necessary for acceptance decisions not known, in the different spheres of human activity, is examined in the article. The tasks of intellectual analysis of information among which the special attention is spared the most popular tasks of classification and prognostication are considered. In the article drawn a conclusion about possibilities of the use of models and methods quanta of knowledge engineering for the effective Data Mining tasks decision.

Fig.: 1. Ref.: 10 items.

---

УДК 004.93'1

**Аналіз класифікації текстів за допомогою вагових коефіцієнтів** / О.М. Луганський, С.В. Машталір // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 73–77.

Розглядаються питання класифікації текстових даних на етапі індексування. Надаються різні вагові коефіцієнти, які використовуються при пошуку релевантних даних. Здійснюється оцінювання точності і повноти при різних варіантах використання вагових коефіцієнтів і аналіз їхнього можливого використання.

Л.: 4. Бібліогр.: 16 найм.

UDC 004.93'1

**Text classification analysis by weight coefficient** / A.M. Lugansky, S.V. Mashtalir // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 73–77.

Questions of text data classification are considered at a stage of indexing. Various weight coefficients which can be used by search of relevant data are resulted. The estimation of precision and recall is spent at various variants of weight coefficients use and the possible usage analysis is fulfilled.

Fig. 4. Ref.: 16 items.

---

УДК 004.75:[004.65]

**Метод формування бази біометричних еталонів для ідентифікації користувачів інформаційних систем за поведінковими характеристиками** / Л.Е. Чала // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 78–83.

У статті запропоновано метод формування та корекції бази біометричних еталонів для ідентифікації користувачів розподілених інформаційних систем за клавіатурним почерком та стилем роботи, заснований на поточному аналізі факторів, типових для об'єкту ідентифікації. Запропоновані мультиплікативний та змішаний критерії для аналізу поточного біометричного профілю користувачів.

Табл. 1. Бібліогр.: 4 найм.

UDK 004.75:[004.65]

**Method forming of the biometric etalons database to the identification information systems users by behavioral characteristic analysis** / L.E. Chalaya // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 78–83.

The paper is devoted to the development of the methods of forming of biometrics characteristic database of the distributed information systems user, which are based on current analysis of the observed factors typical for subject of identification. Possibility of the database adaptive correction was considered. The multiplicative and additive criterions of the current biometrical profiles analysis are offered.

Tab. 1. Ref.: 4 items.

---

УДК 57.08:632.082

**Графоаналітичні методи визначення параметрів необоротного імпульсного пробую мембрани клітини. Частина 1** / В.О. Шигимага // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 84–87.

Розглядається один з методів визначення параметрів необоротного електричного пробую клітинної мембрани за провідністю в зростаючому імпульсному полі. В основу методу покладено аналіз кусковолінійного наближення графічної залежності провідності від напруженості поля в області різкої і необоротної зміни провідності, що вказує на електропробий, з подальшим обчисленням його параметрів.

Л.: 1. Бібліогр.: 12 найм.

UDC 57.08:632.082

**Grafo-analytical methods of determination of irreversible pulse breakdown parameters of cell membrane (part 1)** / V.A. Shigimaga // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 84–87.

One of methods of determination of irreversible electric breakdown parameters of cell membrane on its conductivity in an increasing pulse field is considered. The analysis of piece-linear approximation of conductivity graphic dependence from field strength in area of sharp and irreversible conductivity change is put in basis of method, that indicate on electro-breakdown, with the subsequent calculation of its parameters.

Fig. 1. Ref.: 12 items.

---

УДК 621.396.961.1

**Нейромережеве кредитування у банківській системі підтримки прийняття рішень** / О.В. Івченко, А.С. Коряк, В.Б. Репка, А.В. Шерстнюк // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 88–93.

У статті розглядаються проблеми, що виникають у процесі кредитування фізичних осіб. Для підвищення точності прогнозування при видачі кредиту пропонується розробити нейромережеву систему підтримки прийняття рішень (НССППР) з використанням засобів Data Mining та OLAP-Технології.

Л. 2. Бібліогр.: 7 найм.

UDK 621.396.961.1

**Neural network crediting in bank desigion support system** / O.V. Ivchenko, A.S. Koryak, V.B. Repka, A.V. Sherstnyuk // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 2 (67). — P. 88–93.

In article the problems, which occur in process of crediting natural person are viewed. For improving accuracy of forecasting of crediting, it is proposed to develop the neural network decision support system (NNDSS) using Data Minig and OLAP.

Fig. 2. Ref.: 4 items.

---

УДК 004.93'1:514.142

**Застосування енергетичних характеристик Лавса для сегментації зображень** / О.В. Яковлева, І.О. Панченко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2007. — № 2 (67). — С. 94–98.

В статті розглядається питання сегментації текстурних зображень з використанням енергетичних характеристик Лавса. Проведені дослідження щодо доцільності застосування цих характеристик у вирішенні задач сегментації, а також щодо необхідності використання всіх етапів одержання характеристик з метою отримання найкращого сполучення показників якості та швидкодії методу сегментації. Отримані результати досліджень дозволили зробити висновок про доцільність використання характеристик у сегментації текстурних зображень та необхідність подальших досліджень у напрямку застосування методу за наявності геометричних та кольорових перетворень текстур.

Лл. 6. Бібліогр.: 8 найм.

UDK 004.93'1:514.142

**Application of Laws' energy characteristics for image segmentation** / E.V. Yakovleva, I.A.Panchenko // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 94–98.

In article the question of segmentation of textural images with use of Laws' energy characteristics is considered. Are carried out researches about the expediency of using these characteristics at the decision of image segmentation problems, and also in occasion of necessity in using all stages for characteristics' calculation with the purpose for reception the best relation between quality parameters and method's speed. The received results of researches have allowed to draw a conclusion about the expediency of using Laws' characteristics in segmentation of textural images and about the necessity of the further researches in a direction of the using this method at presence geometrical and bright distortions on textures.

Fig. 6. Ref.: 8 items.

---

УДК. 681.3.016

**Використання Grid-концепції при проектуванні розподілених баз даних у інформаційно-навчальному середовищі** / О.С. Богуш // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 99–102.

В даній статті розглянуті принципи побудови розподіленої бази даних у інформаційно-навчальному середовищі на основі інтеграції моделі «клієнт-сервер» та технології Grid.

Бібліогр.: 4 найм.

UDK. 681.3.016

**Use of the GRID-concept for designing the distributed databases in is information-training environment** / O.S. Bogush // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 99–102.

In given article principles of construction of the distributed databases are considered in is information-training to environment on the basis of overlapping model a client-server and technologies Grid.

Ref.: 4 items.

---

УДК 621.301

**Пристрій та програмне забезпечення за визначенням оптимальних біотропних параметрів електромагнітного поля для передпосівної обробки насіння сої** / Н.Г. Косуліна // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* — 2007. — № 2 (67). — С. 103–106.

На підставі параметрів, які використовуються для аналізу візуальної інформації біологічних об'єктів, розроблена програма для оцінки відгуку сої після передпосівної її обробки.

Лл. 5. Бібліогр.: 3 найм.

UDK 621.301

**Device and software on determination of optimum bioparameters of electromagnetic field for before sowing treatment of seed of soy** / N. Kosulina // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2007. — № 2 (67). — P. 103–106.

On the basis of parameters which are used for the analysis of visual information of biological objects, the program for estimation of response of soy after before sowing its treatment is developed.

Fig.: 5. Ref.: 3 items.

---



## ОБ АВТОРАХ

|                                |        |   |
|--------------------------------|--------|---|
| Авраменко Валерий Павлович     | 47     | д-р техн. наук, профессор кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Богуш Олеся Сергеевна          | 99     | аспирантка кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Бодянский Евгений Владимирович | 21     | д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Бондаренко Михаил Федорович    | 3; 15  | д-р техн. наук, профессор, ректор Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Валенда Наталья Анатольевна    | 47     | канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Вечирская Ирина Дмитриевна     | 65     | инженер кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Дергачева Наталья Алексеевна   | 61     | бухгалтер отдела платного обучения Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»  |
| Долотов Артем Игоревич         | 21     | студент Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Дюбко Геннадий Федорович       | 41     | канд. техн. наук, профессор кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Заболотняя Татьяна Николаевна  | 27     | м.н.с., аспирант кафедры специализированных компьютерных систем Национального технического университета Украины «КПИ»   |
| Злотник Михаил Викторович      | 32, 51 | младший научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины                         |
| Ивченко Ольга Владимировна     | 88     | студентка Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Кораблев Николай Михайлович    | 56     | канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Коряк Андрей Сергеевич         | 88     | аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| Косулина Наталья Геннадиевна   | 103    | канд. техн. наук, доцент кафедры применения электрической энергии в сельском хозяйстве Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенка |
| Кривуля Анна Викторовна        | 51     | аспирантка отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  |
| Луганский Александр Михайлович | 73     | начальник научно-технического информационно компьютерного центра Харьковского национального университета внутренних дел   |
| Машталир Сергей Владимирович   | 73     | канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Овчаренко Ирина Витальевна     | 56     | аспирантка кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| Панкратов Александр Викторович | 51     | канд. техн. наук, научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины               |
| Панченко Ирина Александровна   | 94     | магистр кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники  |

|  |        |  |
|--|--------|--|
| <b>Преснякова Дарья Владимировна</b>     | 41     | аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| <b>Репка Виктория Борисовна</b>          | 88     | канд. техн. наук, доцент кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| <b>Романова Татьяна Евгеньевна</b>       | 32; 51 | д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины |
| <b>Ступак Екатерина Анатольевна</b>      | 32     | аспирантка отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины   |
| <b>Токарев Владимир Владимирович</b>     | 56     | канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| <b>Топал Алексей Сергеевич</b>           | 61     | канд. техн. наук, ассистент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»                                   |
| <b>Хайрова Нина Феликсовна</b>           | 37     | канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий и математики Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»   |
| <b>Чалая Лариса Эрнестовна</b>           | 78     | канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| <b>Шабанов-Кушнарченко Юрий Петрович</b> | 3; 15  | д-р техн. наук, профессор кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники  |
| <b>Шаронова Наталья Валерьевна</b>       | 37     | д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных компьютерных систем Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»                       |
| <b>Шевченко Илона Владимировна</b>       | 69     | канд. техн. наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального аэрокосмического университета им. Жуковского «ХАИ»   |
| <b>Шерстнюк Андрей Витальевич</b>        | 88     | студент Харьковского национального университета радиоэлектроники   |
| <b>Шигимага Виктор Александрович</b>     | 84     | зав. лабораторией клеточной и молекулярной биологии, биофизик, канд. с.-х. наук, ст. научный сотрудник по специальности «биотехнология», Институт животноводства УААН                    |
| <b>Шостак Игорь Владимирович</b>         | 61     | канд. техн. наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»                                      |
| <b>Яковлева Елена Владимировна</b>       | 94     | канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники  |

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСІВ для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку написані спеціально для нього оригінальні рукописи, які раніше ніде не друкувались. Структура рукопису має бути такою: індекс УДК, заголовок, відомості про авторів, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2) стаття повинна мати такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій із зазначенням досі не розв'язаних у даній галузі проблем; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Статті мають бути виконані в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки — А4 (210 x 297 мм), поля: верхнє — 25 мм, нижнє — 20 мм, ліве, праве — 17 мм. Кількість колонок — 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту — 10 пунктів, міжрядковий інтервал — множник (1,1), абзацний відступ — 6 мм. Обсяг рукопису — від 4 до 12 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

*Назва статті* друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12. Назви розділів нумерують арабськими цифрами, виділяють жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назв розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху — 6 пт, знизу — 3 пт.

*Анотацію* (мовою статті, абзац 4–10 рядків, кегль 9) розміщують на початку статті, в ній має бути розміщена інформація про результати описаних досліджень.

*Ключові слова* (4–10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження) наводять мовою рукопису, через кому, в називному відмінку, кегль 9.

*Малюнки та таблиці* (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумеруються арабськими цифрами наскрізною нумерацією за наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3–4 елементів, виконують, використовуючи вставку об'єкта Рисунок Microsoft Word. Більш складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tiff, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі, а також обов'язково подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, ris\_1.cdr).

Усі елементи малюнка, включаючи написи, мають бути згруповані. Всі написи в малюнках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у малюнках — 10, у таблицях — 9.

Малюнок повинен мати центрований підпис (поза малюнком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина малюнка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

*Формули, символи, змінні* мають бути набрані в редакторі формул MathType або Microsoft Equation. Формули розміщують посередині рядка й нумерують за наявності посилань на них у рукописі. Шрифт — Times New Roman. Висота змінної — 10 пунктів, великих і малих індексів — 8 пт, основний математичний символ — 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набирають курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри — прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набирають у редакторі формул.

*Список літератури* вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті, укладені в квадратні дужки, друкують без абзацного відступу, кегль 9 пт, відступ зверху — 6 пт.

Після списку літератури з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифту — 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

*Реферати* (Times New Roman, кегль — 9 пунктів, 3–4 речення) подаються російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80–90 г/м<sup>2</sup>, надрукований на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву за наведеним зразком, яку мають підписати всі автори:

«Прошу прийняти статтю ... (зазначити прізвища авторів, назву статті) обсягом ... сторінок (вказати кількість сторінок) для опублікування в науково-технічному журналі «Біоніка інтелекту». Оплату гарантуємо.

Відомості про авторів: (вказати прізвище, ім'я та по батькові, місце роботи, вчений ступінь, наукове звання, контактний телефон, поштову та електронну адресу).

Підписи авторів».

2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друку.

3. Рецензію, підписану доктором наук.

4. Відомості про авторів.

5. Електронний варіант (на дискеті 3,5" або електронною поштою) рукопису, реферату та відомостей про авторів.

6. Оплату за публікацію.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ научно-технического журнала «БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА»

Научно-технический журнал «Бионика интеллекта» принимает для опубликования написанные специально для него оригинальные рукописи, которые нигде раньше не издавались. Структура рукописи должна быть следующей: индекс УДК, заглавие, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, введение, основной текст статьи, выводы, список использованной литературы.

Согласно Постановлению ВАК Украины от 15.01.2003 №7-05/1 (Бюллетень ВАК, №1, 2003, с. 2) статья должна иметь следующие необходимые элементы: постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями; анализ последних исследований, публикаций и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы в данной области; формулирование целей и задач исследования; изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Статьи должны быть выполнены в редакторе Microsoft Word. Формат страницы — А4 (210 x 297 мм), поля: верхнее — 25 мм, нижнее — 20 мм, левое, правое — 17 мм. Количество колонок — 2, с интервалом между ними 5 мм, основной шрифт Times New Roman, кегль основного текста — 10 пунктов, междустрочный интервал — множитель (1,1), абзацный отступ — 6 мм. Объем рукописи — от 4 до 12 страниц (языки: русский, украинский, английский).

*УДК* печатается с первой строки, без отступа, выравнивание по левому краю.

*Название рукописи* печатается прописными буквами; шрифт прямой, полужирный, кегль 12.

*Название разделов* нумеруют арабскими цифрами, выделяют жирным шрифтом. Отступы для названия рукописи, инициалов и фамилий авторов, сведений об авторах, названий разделов, введения и выводов, списка литературы сверху — 6 пт, снизу — 3 пт.

*Аннотация* (на языке рукописи, абзац 4–10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

*Ключевые слова* (4–10 слов из текста статьи, которые с точки зрения информационного поиска несут смысловую нагрузку, на языке рукописи, через запятую в именительном падеже, кегль 9).

*Рисунки и таблицы* (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде встроенных объектов и отдельно нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией, при наличии более одного объекта. Простые схемы, состоящие из 3–4 элементов, рисуют, используя вставку объекта Рисунок Microsoft Word. Более сложные выполняют в графических редакторах в виде черно-белых графических файлов форматов .tiff, .jpg, .wmf, .cdr с разрешением 300 dpi. Рисунки должны быть включены в текстовый файл, а также обязательно представлены отдельным файлом с соответствующим названием (например, ris\_1.cdr).

Все элементы рисунка, включая надписи, должны быть сгруппированы. Все надписи в рисунках и таблицах должны быть выполнены шрифтом Times New Roman, кегль в рисунках — 10, в таблицах — 9. Табличный заголовок располагается справа над таблицей (кегель 9 пт).

Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись (вне рисунка), кегль 9, по центру, отступы сверху и снизу по 6 пт. Ширина рисунка должна соответствовать ширине колонки (или ширине страницы).

*Формулы, символы, переменные* должны быть набраны в редакторе формул MathType или Microsoft Equation. Формулы располагаются по центру и нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Шрифт — Times New Roman. Высота переменной — 10 пунктов, индексов и подиндексов — 8 пт, основной математический символ — 12 (10) пт. Переменные, обозначенные латинскими буквами, набирают курсивом, греческие буквы, сокращения русских слов и цифры — прямым начертанием. Переменные, содержащиеся в тексте, также набирают в редакторе формул.

Небольшие формулы можно размещать не в отдельной строке, а прямо по тексту.

*Список литературы* включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки, печатается без абзацного отступа, кегль 9 пунктов, отступ сверху — 6 пт.

После списка литературы с отступами сверху — 6 пт указывается дата поступления статьи в редколлегию. Число и месяц задаются двузначными числами через точку. Размер шрифта — 9 пт, курсив, выравнивание по правому краю.

*Рефераты* (Times New Roman, кегль — 9 пунктов, 3–4 предложения) на украинском и английском языках. Реферат не должен дублировать текст аннотации.

Вместе с рукописью (на листах белой бумаги формата А4 плотностью 80–90 г/м<sup>2</sup>, напечатанной на лазерном принтере, в 2-х экземплярах) необходимо подать следующие документы:

1. Заявку утвержденного образца, подписанную всеми авторами:

«Прошу принять статью ... (указать фамилии авторов, название статьи) объемом ... страниц (указать количество страниц) для опубликования в научно-техническом журнале «Бионика интеллекта». Оплату гарантируем.

Сведения об авторах: (указать фамилию, имя, отчество каждого автора, место работы, ученую степень, научное звание, контактный телефон, почтовый и электронный адреса).

Подписи авторов».

2. Акт экспертизы о возможности опубликования материалов в открытой печати.

3. Рецензию, подписанную доктором наук.

4. Сведения об авторах.

5. Электронный вариант (на дискете 3,5" или электронной почтой) рукописи, реферата и сведений об авторах.

6. Оплату за публикацию.

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF MANUSCRIPTS of the scientific journal «BIONICS of INTELLIGENCE»

---

The scientific journal «Bionics of intelligence» accepts for publication original manuscripts which have not been published earlier. The manuscript structure should be as follows: Universal Decimal Classification (UDC) title, authors' initials and surname (in alphabetical order), abstract, key words, introduction, main text, conclusions, references.

According to the Editorial board resolution, based on the Presidium Convention of Ukraine's Supreme Attestation Committee of 15.01.2003 №7-05/1 (Bulletin of Supreme Attestation Committee, №1, 2003, p.2) manuscripts must have the following required elements: introduction (general statement of a problem and its relation to important scientific and practical tasks; analysis of recent research, publications and highlighting of unsolved parts of the general problem in the given field); formulating aims and tasks of research; presentations of the main research material with full substantiation of scientific results obtained; conclusions and perspectives of further research in the given field.

Manuscripts should be submitted in Microsoft Word. Page format — A4 (210 x 297mm), margins: top — 25mm, bottom — 20mm; left, right — 17mm. Double column format with 5mm spacing, font — Times New Roman, font size — 10 points, line spacing — multiplier (1,1), indentation — 6mm. The manuscript should be from 4 to 12 pages (languages: Russian, Ukrainian, English).

The UDC is published from the first line, without indentation, the alignment is by a left edge. The title is in capital letters; the type is medium bold-faced Roman; type size 12. The names of sections are of extra bold type and numbered in Arabic figures. There are indentions for the names of manuscripts, initials and surnames of authors, information about authors, the names of sections, introduction and conclusions, references: top — 6pt; bottom — 3pt.

An *abstract* (in the language of a manuscript, an indentation is made up of 4-10 lines; type 9) is in the beginning of an article and contains information about the results of described studies.

*Key words* (4-10 words from the text of an article, which from the point of view of information search bear sense in the language of a manuscript, by way of a comma in nominative case, type 9).

*Figures and tables* (black-and-white, sharp and of good quality) should be in a text after a first reference in the form of embedded item and numbered separately by Arabic numerals in case of more than one item. All legends of figures and tables, including inscriptions, must be grouped. All inscriptions in figures and tables must be in Times New Roman, font size in figures — 10, in tables — 9. A table title is to the right above

the table (font size — 9). The figure should contain a centered figure legend (outside a figure), font size 9, in the centre, top and bottom indentions — 6pt. The figure width must agree with the column width (or page width).

*Equations, symbols, variables* should be submitted in Math Type (Equation). Equations are centered and numbered in case of references in the text. The font — Times New Roman. The size of variable — 10 points, superscript and subscript characters — 8pt, a main math. symbol — 12 (10) pt. Variables, designated by Latin letters, should be italicized; Greek letters, abbreviations of Russian words and figures should be set in Roman type. Variables which are in the text are also submitted in Math Type (Equation).

*References*, submitted to the state standards, include published sources that are referred to in the main text in square brackets, without an indentions, 9 pt., top indentation — 6 pt.

The date of receiving an article by the Editorial board is designated after the references with top indentions — 6 pt. Date and month should be given in numbers by way of a full stop. The font size — 9pt, italic type, alignment should be done on the right edge.

Abstracts should be submitted in two languages: Ukrainian and Russian (Times New Roman, 9 pt, 3–4 sentences). An abstract must not duplicate the text of resume.

The following documents must be submitted together with a manuscript on A4 format white color sheets of 80–90 gr/m<sup>2</sup> density typed on a laser printer:

1. An application of the following form signed by all the authors:

«You are kindly requested to accept the paper (authors' full names and the name of an paper should be indicated) in ... pages (the number of pages should be indicated) for publication in the scientific journal «Bionics of intelligence». We guarantee the payment.

Information about the authors (surname, first name and patronimic of each authors, place of work, degree, academic status, contact telephone, mailing and electronic addresses should be indicated).

Signatures of authors».

2. A certificate of expertise about a possibility of having the materials published in the press.

3. A review signed by a doctor of sciences.

4. Information about the authors.

5. An electronic variant of a manuscript, an abstract and information about the authors (on a 3.5" diskette or by electronic mail).

6. A receipt of payment for publication.

## АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Г. Г. Четвериков<sup>1</sup>, І. Д. Вечірська<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЕ, м. Харків, Україна, chetvergg@kture.kharkov.ua<sup>2</sup> ХНУРЕ, м. Харків, Україна, ira\_se@list.ru

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методологічний підхід до мови людини, що дозволяє сприймати її як деяку алгебру, а її тексти — як формули цієї алгебри.

МОВА ПРИРОДНА, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТИВ, ВІДНОШЕННЯ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

## Вступ

Формальним моделям семантико-синтаксичних структур мови відводиться вирішальна роль у сучасній проблематиці комп'ютерної лінгвістики та системах штучного інтелекту (ШтІ). Це пов'язано з необхідністю створення програмно-апаратного комплексу генерації та аналізу речень природної мови (ПМ).

## 1. Дослідження алгебро-логічної структури природної мови

У роботі використовується апарат алгебри предикатів [1]. Множина  $U$  може бути як скінченною, так і нескінченною. У першому випадку простір  $U$  називатимемо скінченним, а в іншому — нескінченним.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_3) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_3) \notin T \\ 1, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_3) \in T \end{cases} \quad (1)$$

Згідно з (1), можливий перехід від будь-якого відношення  $T$  до відповідного йому предикату  $P$ . Предикат  $P$ , що знаходимо по (1), називатимемо характеристичною функцією відношення  $T$ .

## 2. Шляхи автоматизації обробки мовної інформації

Сьогодні в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезауруси) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції.

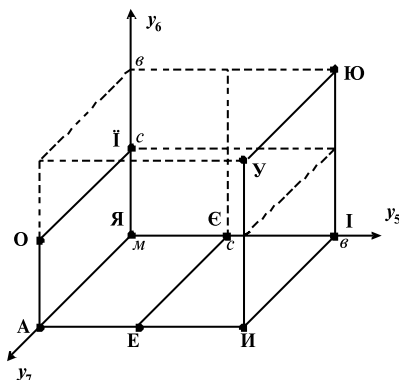


Рис. 1. Тривимірний простір ознак для голосних фонем

## Висновки

У статті запропоновано узагальнену структуру інтелектуальної системи, яка відповідає новій інформаційній технології вирішення задач на ЕОМ, орієнтованих на досягнення високорівневої технології обробки мовної інформації (отримання нової якості). Істотно новим в роботі є розширення алгебри скінченних предикатів (АСП). Тепер вона охоплює не тільки скінченні предикати, а також — нескінченні. Область її рекомендованого застосування розширена та охоплює довільні відношення, які надалі будемо описувати за допомогою ДКАП.

**Список літератури:** 1. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. О бионике интеллекта // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — Харьков: ХНУРЭ, 2004. — Вып.1(61). — С. 3—14. 2. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основы теории синтеза надшвидкодуючих структур мовних систем штучного інтелекту. — К.: ІЗМН, 1997. — 264 с.

Поступила до редколегії 15.02.2007

УДК 519.62

**Алгебро-логические средства моделирования естественного языка / Г. Г. Четвериков, И. Д. Вечирская // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2007. — № 1 (66). — С. 00—00.**

В статье рассматриваются перспективные направления развития современных цифровых устройств, сетей и систем. Утверждается, что развитие средств вычислительной техники является основой автоматизации умственной деятельности человека.

Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

UDK 519.7

**Algebra-logical tools of modeling natural language / G. G. Chetverikov, I. D. Vechirskaya // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2007. — № 1 (66). — P. 00—00.**

In article the perspective directions of modern digital devices, networks and systems development are considered. The carried out analysis shows means of computer facilities development is a baseline of automation of the man intellectual activity.

Fig. 5. Ref.: 7 items.

Видавництво здійснює остаточне форматування тексту відповідно до вимог друку.

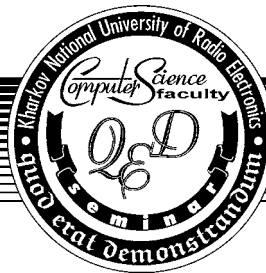
**Адреса редакції:**

Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, ХНУРЕ, к. 285, тел.: 702-14-77, 702-14-46, факс 702-10-13

e-mail: bionics@kture.kharkov.ua

# ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

Факультет компьютерных наук ХНУРЭ  
Ежемесячный научный семинар Q.E.D.



## *Если в рамках научных направлений факультета КН Вы*

хотите обсудить в «полновесном» формате (до полутора часов):

- «Новый результат в ...»
- «Состояние и перспективы развития ...»
- «Сравнительный анализ подходов (методов...) ...»

сообщить в формате «лягушатника» (до 20 минут):

- обоснование темы диссертации
- цели и задачи диссертационных исследований
- теоретическую значимость и практическую ценность результатов
- полученные теоретические результаты и их новизну
- представить монографию, статью, доклад ...

*приглашаем принять участие в работе семинара Q.E.D.*

### *Постоянные члены семинара:*

проф. Авраменко В.П.  
проф. Бескоровайный В.В.  
проф. Бодянский Е.В.  
проф. Бондаренко М.Ф.  
проф. Борячок М.Д.  
проф. Гребенник И.В.  
проф. Дударь З.В.  
проф. Кучеренко Е.И.  
проф. Левыкин В.М.  
проф. Лесная Н.С.  
проф. Машталир В.П. (зам. председателя)  
проф. Петров Э.Г. (председатель)  
доц. Рябова Н.В.  
проф. Филатов В.А.  
доц. Чалая Л.Э. (ученый секретарь)  
проф. Четвериков Г.Г.  
проф. Шабанов-Кушнаренко Ю.П.

*Семинар проводится  
каждый второй четверг  
в 15<sup>05</sup>, ауд. 259*

***СЛЕДИТЕ ЗА ОБЪЯВЛЕНИЯМИ!***

Запись для выступлений на семинаре  
у секретаря (комн. 370)

***ПРИГЛАШАЮТСЯ ВСЕ ЖЕЛАЮЩИЕ***

Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники, г. Харьков, просп. Ленина, 14

*Наукове видання*

**БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ**  
**інформація, мова, інтелект**

Науково-технічний журнал

№ 2 (67)

2007

Головний редактор — *М. Ф. БОНДАРЕНКО*

Відповідальний редактор — *Ю. П. Шабанов-Кушнарєнко*

Заступник відповідального редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний секретар — *І. Д. Вечірська*

Коректор — *Л. М. Денісова*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою  
Харківського національного університету радіоелектроніки  
(протокол № 37 від 30.11.2007)

**Адреса редакції:**

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 285,  
тел. 702-14-77, 702-14-46, факс 702-10-13,  
e-mail: bionics@kture.kharkov.ua

---

Підписано до друку 30.11.2007. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Друк ризографічний.  
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 13,95. Обл.-вид. арк. 14,3.  
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ  
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14