

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

№ 1 (82)

2014

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в октябре 1967 г.

Учредитель и издатель
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Периодичность издания – *2 раза в год*

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА

Бодянский Е. В., Рябова Н. В., Золотухин О. В. Классификация текстовых документов с помощью нейронной сети встречного распространения с контролируемым обучением 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Гребенник И. В., Чёрная О. С. Циклические свойства смежных перестановок различных элементов 7

Зайко Т. А., Олейник А. А., Субботин С. А. Синтез диагностической модели качества кондитерской продукции на основе ассоциативных правил 12

Губаренко Е. В. Формирование оценок эффективности организации социальных ресурсов социально-экономических систем 17

Литвин О. О. Поліноміальна ермітова інтерполяція функцій 2-х змінних у вузлах перетину системи прямих 23

Гребенник И. В., Ребезюк Л. Н., Ребезюк Е. Л. Математическая постановка задачи синтеза помехоустойчивых методов одномерного поиска 29

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Kagramanjan A. Structure of factorization processes 33

Власенко Н. В., Гороховатский В. А. Оценивание эффективности систем признаков в методах распознавания изображений на основе структурного анализа 38

Богучарский С. И., Маиталир С. В. Кластеризация коллекций изображений в больших базах данных на основе рекуррентной оптимизации 43

Михаль О. Ф. Синтез модели клеточного автомата на сети Петри 47

Михаль О. Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники 55

Лукьянова Е. А. О проверке формул СТЛ-логики на моделях Крипке сети Петри параллельной распределённой системы 63

Бритик В. И., Жилина Е. Ю., Струков Е. В. Решение задачи сегментации изображений, основанное на использовании битовых распределений 69

Сокол В. Є., Ткачук М. В., Кузнецов М. О. Моделі та алгоритми опрацювання інцидентів в системах автоматизації корпоративних ІТ-послуг на основі використання бази даних управління конфігураціями 74

Скопа О. О., Фразе-Фразенко О. О. Вибір методики та розрахунків коефіцієнтів помилкового пропуску та помилкової відмови доступу у системах біометричної ідентифікації 80

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Кораблев Н. М., Кушнарев М. В. Мультиагентная модель искусственной иммунной системы для распознавания вредоносных программ 90

Зеленцова Ж. Ю. Современные интеграционные решения и особенности применения виртуализации при разработке сервисных платформ 95

Дудар З. В., Широкопетлева М. С., Махін О. В. Використання методів нечіткого пошуку у реалізації веб-системи видавництва наукових журналів 99

Высоцкая Е. В., Страшненко А. Н., Демин Ю. А., Прасол И. В. Определение тяжести состояния пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и выбор лечения 104

Об авторах 111

Правила оформления рукописей для авторов научно-технического журнала «Бионика интеллекту» 113

Instructions for authors of manuscripts of the scientific journal «Bionics of intelligence» 114

Приклад оформления статьи 115



Е. В. Бодянский¹, Н. В. Рябова², О. В. Золотухин³

¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина bodya@kture.kherkov.ua

² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина ryabova.nv@gmail.com

³ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина zolotukhin.ov@gmail.com

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ВСТРЕЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ОБУЧЕНИЕМ

Проведен анализ алгоритмов классификации политематических текстовых документов на основе нейронных сетей. Предложена архитектура нейронной сети встречного распространения для задач классификации текстовых документов, а также алгоритм контролируемого обучения этой сети.

КЛАССИФИКАЦИЯ, НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ, ФУНКЦИЯ АКТИВАЦИИ

Введение

Задачи интеллектуальной обработки текстовых документов в рамках Text Mining и Web Mining в настоящее время привлекают все большее внимание, а среди таких задач в качестве одной из наиболее актуальных можно отметить задачу классификации, которую удобно рассматривать с позиций теории распознавания образов. Для решения такого типа задач в качестве весьма эффективного аппарата в настоящее время широко используются искусственные нейронные сети, благодаря своим универсальным аппроксимирующим свойствам и способности к обучению [1, 2]. Так, в [3] задачу классификации текстовых документов было предложено решать с помощью нейронной сети обучаемого векторного квантования (LVQ), а в [4] для решения этой же задачи в условиях пересекающихся классов было предложено использовать нечеткий вариант LVQ. В [5] для решения задачи была использована вероятностная нейронная сеть (PNN), а в [6-8] были введены различные модификации PNN, включая нечеткую. В [9] для обработки текстов была предложена иерархическая нейронная радиально-базисная сеть (RBFN), обучаемая на основе персептронного критерия.

И хотя с помощью этих нейронных сетей были получены вполне приемлемые результаты, все они не лишены некоторых недостатков, ограничивающих их применимость. Так, алгоритмы обучаемого векторного квантования, являясь по сути процедурами стохастической аппроксимации [10], характеризуются низкой скоростью сходимости, что требует больших объемов обучающих выборок. Вероятностные и радиально-базисные нейронные сети подвержены «проклятию размерности» в случае высокой размерности входных векторов-образов, что существенно затрудняет их использование в режиме реального времени.

Таким образом, представляется целесообразным разработка быстродействующей нейронной сети, предназначенной для решения задач классификации текстовых документов в режиме реального времени при последовательном поступлении данных на вход системы.

1. Архитектура нейронной сети встречного распространения для классификации текстовых документов

Гетерогенные нейронные сети встречного распространения были предложены Р. Хехт-Нильсеном [11-13] в качестве альтернативы классическим многослойным сетям с прямой передачей информации и сокращают время обучения, как минимум, на порядок по сравнению с многослойными персептронами, хотя несколько проигрывают им по точности аппроксимации. Исходно эти сети были разработаны для аппроксимации по экспериментальным данным некоторого отображения $y = F(x)$ и нахождения обратного оператора $x = F^{-1}(y)$, хотя впоследствии с различными модификациями, включая нечеткий вариант [14-16], применялись в основном в задаче распознавания образов (классификации), компрессии данных, ассоциативной памяти.

Наиболее известная сеть встречного распространения (CPN) [2, 15] представляет собой гибрид самоорганизующейся карты Т. Кохонена (первый скрытый слой) и набора звезд С. Гроссберга (выходной слой) и соответственно сочетает в себе конкурентное самообучение с контролируемым обучением с учителем. При этом можно отметить, что узлами этой сети, как правило, являются адаптивные линейные ассоциаторы, чей вход линейно зависит от настраиваемых синаптических весов, что определяет высокую скорость их настройки.

Специфика задачи классификации текстовых документов требует существенной модификации как архитектуры CPN, так и алгоритмов ее обучения. Во-первых, поскольку в режиме обучения на вход сети подаются классифицированные образы, целесообразно в первом скрытом слое использовать не традиционную самоорганизующуюся карту (SOM), обучаемую без учителя, а нейронную сеть векторного квантования LVQ [17, 18], обучаемую с учителем, что позволяет повысить быстродействие, а, кроме того, если SOM может оценить только центроиды классов, то LVQ – и центроиды, и границы этих классов.

Во-вторых, в выходном слое вместо звезд Гроссберга целесообразно использовать элементарные перцептроны Розенблатта с нелинейной функцией активации (релейной), принимающей только два значения: 1, если предъявляемый образ относится к данному конкретному классу, и 0 – в противном случае.

Архитектура предлагаемой сети встречного распространения приведена на рис. 1.

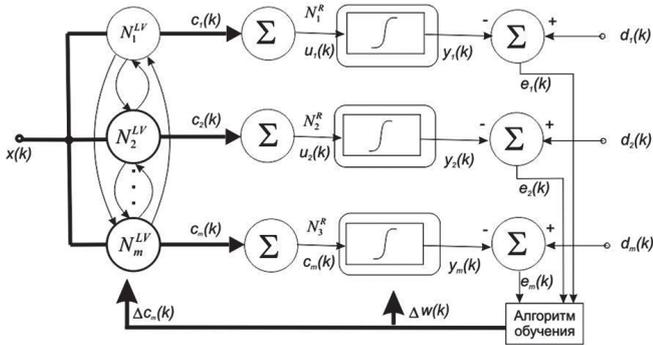


Рис. 1. Модифицированная нейронная сеть встречного распространения

Исходной информацией для обучения является последовательность векторов-образов

$$x(1), x(2), \dots, x(k), x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T \in R$$

с известной классификацией, которая в реальном времени, что характерно для задач Web Mining, подается на нулевой (рецепторный) слой сети. Нейроны первого скрытого слоя N_j^{LV} ($j=1, 2, \dots, m$), m – количество возможных классов, задаваемые априорно, являясь по сути адаптивными линейными ассоциаторами [2], предназначены для нахождения центроидов и границ классов, при этом $(n \times 1)$ -векторы, описывающие эти центроиды $c_j(k) = (c_{j1}(k), c_{j2}(k), \dots, c_{jn}(k))^T$, являются синаптическими настраиваемыми весами каждого из нейронов N_j^{LV} . При этом все входные сигналы перед подачей на нулевой слой нормируются так, что $\|x(k)\| = 1$.

Выходной слой сети образован m -элементарными перцептронами Розенблатта [2] N_j^R с сигмоидальной функцией активации, при этом

$$y_j(k) = \psi(\gamma u_j(k)) = \psi\left(\sum_{i=1}^n \gamma w_{ji} c_{ji}(k)\right) = \psi(\gamma w_j^T c_j(k)) = \frac{1}{1 + e^{-\gamma w_j^T c_j(k)}} = \frac{1}{1 + e^{-\gamma w_j^T c_j(k)}}, \quad (1)$$

где γ – параметр крутизны активационной функции, $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn})^T$ – вектор синаптических весов N_j^R .

На рис. 2 показан вид сигмоидальной активационной функции $\psi(\gamma u_j)$ в зависимости от параметра крутизны γ . При этом, чем больше значение γ , тем ближе $\psi(\gamma u_j)$ к релейной функции

$$\psi(\gamma u_j) = \begin{cases} 1, & \text{при } u_j \geq 0, \\ 0, & \text{при } u_j < 0, \end{cases} \quad (2)$$

обычно используемой в задачах распознавания образов.

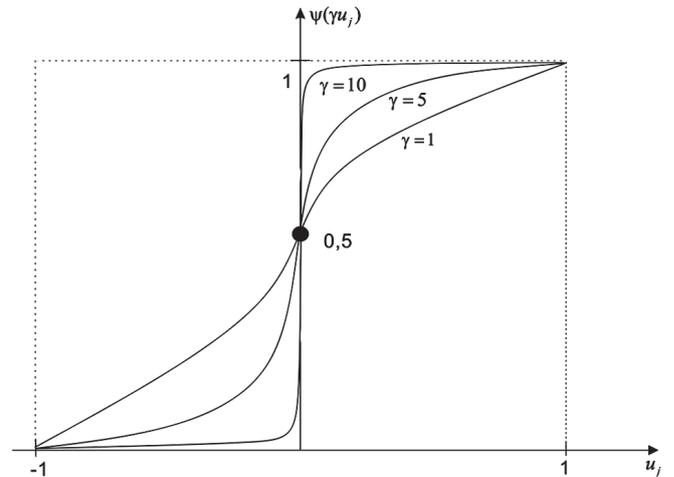


Рис. 2. Зависимость сигмоидальной функции от параметра крутизны

Понятно, что при $\gamma \rightarrow \infty$, $\psi(\gamma u_j)$ совпадает с (2), не претерпевая при этом разрыва производной в точке $u_j = 0$.

Здесь интересно также заметить, что векторы $c_j(k)$, являясь синаптическими весами N_j^{LV} , подаются в качестве входных сигналов на выходные нейроны N_j^R .

Выходные сигналы сети $y_j(k)$ принимают два значения

$$y_j(k) \approx \begin{cases} 1, & \text{если } x(k) \text{ относится к } j\text{-ому классу,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

при этом точные значения 1 или 0 никогда не достигаются.

2. Обучение нейронной сети встречного распространения для классификации текстовых документов

При подаче на вход нейронной сети вектора-образа $B(k)$ ($\|x(k)\| = 1$) в процессе конкуренции, реализуемой по латеральным (поперечным) связям первого скрытого слоя между нейронами N_j^{LV} , определяется нейрон-победитель j^* , вектор синаптических весов которого $c_{j^*}(k-1)$ в смысле принятой метрики (как правило, евклидовой) наиболее близок ко входному сигналу:

$$\begin{aligned} j^* &= \arg \min_j D(x(k), c_j(k-1)) = \\ &= \arg \min_j \|x(k) - c_j(k-1)\|^2 = \arg \max_j c_j^T(k-1)x(k) = \\ &= \arg \max_j \cos(c_j(k-1), x(k)), \end{aligned}$$

при этом $-1 \leq \cos(c_j(k-1), x(k)) = c_j^T(k-1)x(k) \leq 1$, а $0 \leq \|x(k) - c_j(k-1)\|^2 \leq 4$.

Поскольку обучение в первом скрытом слое является контролируемым (в отличие от традиционной CPN), принадлежность каждого вектора $x(k)$ к конкретному классу известна, что позволяет рассмотреть две возможные ситуации, возникающие в обучаемом векторном квантовании:

- входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель N_j^{LV} принадлежат одному классу;
- входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель N_j^{LV} принадлежат разным классам.

Тогда LVQ-правило обучения может быть записано в виде:

$$c_j(k) = \begin{cases} \frac{c_{j^*}(k-1) + \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1))}{\|c_{j^*}(k-1) + \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1))\|}, & \text{если } x(k) \text{ и } c_{j^*}(k-1) \in \text{одному классу,} \\ \frac{c_{j^*}(k-1) - \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1))}{\|c_{j^*}(k-1) - \eta(k)(x(k) - c_{j^*}(k-1))\|}, & \text{если } x(k) \text{ и } c_{j^*}(k-1) \in \text{разным классам,} \\ A_j(k-1), & \text{если } j\text{-ый нейрон не победил,} \end{cases} \quad (3)$$

где $0 < \eta(k) \leq 1$ – параметр шага обучения.

Правило контролируемого обучения (3) имеет ясный физический смысл: если нейрон-победитель и предъявляемый образ относится к одному классу, то центроид $c_{j^*}(k-1)$ притягивается к $x(k)$; если же $c_{j^*}(k-1)$ и $x(k)$ относятся к разным классам, то $c_{j^*}(k-1)$ отталкивается от $x(k)$, минимизируя или максимизируя расстояние

$$D(x(k), c_{j^*}(k-1)) = \|x(k) - c_{j^*}(k-1)\|^2,$$

при этом автоматически производится нормирование $\|c_j(k)\| = 1$.

Что касается выбора шага обучения $\eta(k)$, то общая рекомендация сводится к тому, что он должен монотонно уменьшаться в процессе настройки согласно правилам стохастической аппроксимации. Выбор $\eta(k) = k^{-1}$ соответствует рекуррентной оценке среднего арифметического с помощью первого соотношения системы (3). При $\eta(k) = 1$ вместо оценок $c_j(k)$ на выходной слой классификации подаются сами входные образы $x(k)$. В [4] для обучения LVQ была использована рекуррентная оценка $\eta(k)$, обеспечивающая процессу обучения дополнительные фильтрующие свойства.

Для обучения синаптических весов выходного слоя, образованного элементарными персептронами Розенблатта, будем использовать стандартный квадратичный критерий вида

$$E_j(k) = \frac{1}{2}c_j^2(k) = \frac{1}{2}(d_j(k) - y_j(k))^2 = \frac{1}{2}(d_j(k) - \psi(\gamma u_j(k)))^2 = \frac{1}{2}(d_j(k) - \psi(\sum_{i=1}^n \gamma w_{ji} c_{ji}(k)))^2,$$

$$\text{где } d_j(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } x(k) \text{ относится к } j\text{-ому классу,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4)$$

Здесь следует отметить, что хотя в задаче распознавания образов обычно используется так называемый персептронный критерий [19], применение квадратичного критерия (4) с большим значением γ позволяет оптимизировать процесс обучения по быстрдействию.

Минимизация критерия обучения (4) может быть обеспечена с помощью рекуррентной процедуры (δ -правила обучения [2]) вида:

$$\begin{aligned} w_{ji}(k) &= w_{ji}(k-1) - \eta^R(k) \frac{\partial E_j(k)}{\partial e_j(k)} \cdot \frac{\partial e_j(k)}{\partial w_{ji}} = \\ &= w_{ji}(k-1) - \eta^R(k) e_j(k) \frac{\partial e_j(k)}{\partial w_{ji}} = \\ &= w_{ji}(k) - \eta^R(k) e_j(k) \frac{\partial e_j(k)}{\partial u_j(k)} \cdot \frac{\partial u_j(k)}{\partial w_{ji}} = \\ &= w_{ji}(k) + \eta^R(k) e_j(k) \psi'(\gamma u_j(k)) c_{ji}(k) = \\ &= w_{ji}(k) + \eta^R(k) \delta_j(k) c_{ji}(k), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\delta_j(k) = e_j(k) \psi'(\gamma u_j(k)) = -\frac{\partial E_j(k)}{\partial u_j}$ – локальная ошибка.

В векторной форме алгоритм (5) можно представить как:

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta^R(k) \delta_j(k) c_j(k), \quad (6)$$

а с учетом (1):

$$\begin{aligned} w_j(k) &= w_j(k-1) + \eta^R(k) \gamma e_j(k) y_j(k) (1 - y_j(k)) c_j(k) = \\ &= w_j(k-1) + \eta^R(k) \gamma (d_j(k) - \\ &- w_j^T(k-1) c_j(k)) y_j(k) (1 - y_j(k)) c_j(k) = \\ &= w_j(k-1) + \eta^R(k) e_j(k) J_j(k), \end{aligned} \quad (7)$$

где $J_j(k) = \gamma y_j(k) (1 - y_j(k)) c_j(k)$.

Повысить быстрдействие процесса обучения выходного слоя можно, переходя от градиентных процедур типа (7) к псевдоньютоновским алгоритмам, среди которых можно отметить популярный в теории и практике нейронных сетей алгоритм Левенберга-Марквардта [2]. Вводя одношаговую модификацию этого алгоритма

$$\begin{aligned} w_j(k) &= w_j(k-1) + \\ &+ (J_j(k) J_j^T(k) + \eta^R I)^{-1} J_j(k) (d_j(k) - \\ &- \psi(\gamma w_j^T(k-1) c_j(k))) \end{aligned} \quad (8)$$

(здесь $\eta^R > 0$ – параметр регуляризации, I – $(n \times n)$ – единичная матрица) и используя формулу Шермана-Моррисона обращения матриц, можно переписать (8) в простом виде [20]

$$\begin{aligned} w_j(k) &= w_j(k-1) + \\ &+ \frac{d_j(k) - \psi(\gamma w_j^T(k-1) c_j(k))}{\eta^R + \|J_j(k)\|^2} J_j(k), \end{aligned} \quad (9)$$

являющимся распространением на нелинейной случай широко используемого оптимального алгоритма обучения нейронных сетей Уидроу-Хоффа [2] и аддитивного алгоритма Качмажа [21], принятого в задачах адаптивной идентификации.

Можно заметить, что алгоритмы обучения CPN (3) и (9) отличаются вычислительной простотой и высоким быстродействием, что позволит использовать их при обработке информации в реальном времени.

Выводы

Рассмотрена задача автоматической классификации текстовых документов, поступающих на обработку в реальном времени. Предложена архитектура специализированной нейронной сети и алгоритм ее контролируемого обучения, являющиеся расширением сетей встречного распространения для рассматриваемой задачи. Предложенная нейронная сеть может найти применение для задач Text- и Web-Mining, распознавания образов, классификации и т.п., а алгоритмы ее обучения характеризуются вычислительной простотой и высоким быстродействием, являясь обобщением оптимальных линейных правил.

Список литературы: 1. *Bilshop C.M.* Neural Networks for Pattern Recognition. – Oxford: Clarendon Press, 1995. – 482 p. 2. *Haykin S.* Neural Networks. A Comprehensive Foundation – Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. – 842 p. 3. *Umer M.F., Khoyal M.S.H.* Classification of textual documents using learning vector quantization// Information Technology Journal. – 2007. – 6(1). – P. 154-159. 4. *Бодянский Е.В., Рябова Н.В., Золотухин О.В.* Обработка текстовых документов с помощью адаптивного нечеткого обучаемого векторного квантования // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2011. – № 53. – С.109-115. 5. *Ciarelli P.M., Oliveira E.* An enhanced probabilistic neural network approach applied to text classification// Lecture Notes on Computer Science. – V. 5856. – Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – P. 661-668. 6. *Бодянский Е.В., Рябова Н.В., Золотухин О.В.* Классификация текстовых документов с помощью нечеткой вероятностной нейронной сети // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2011. – №6/2 (54). – С. 16-18. 7. *Bodyanskiy Ye., Shubkina O.* Semantic annotation of text documents using evolving neural network based on principle “Neurons at Data Points”// Proc. 4th Int. Workshop on Inductive Modelling “IWIM 2011”. – Kyiv, 2011. – P. 31-37. 8. *Bodyanskiy Ye., Shubkina O.* Semantic annotation of text documents using modified probabilistic neural network// Proc. 6th IEEE Int. Conf. Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 15-17 Sept.2011, Prague, Czech Republic,

2011. – P. 328-331. 9. *Бодянский Е.В., Шубкина О.В.* Семантическое аннотирование текстовых документов на основе иерархической радиально-базисной нейронной сети // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2010. – №6/3 (48). – С. 72-77. 10. *Kosko B.* Neural Networks for Signal Processing. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1992. – 398 p. 11. *Hecht-Nielsen R.* Counterpropagation networks // Applied Optics. – 1987. – 26. – P. 4989-4984. 12. *Hecht-Nielsen R.* Application counterpropagation networks // Neural Networks. – 1988. – 1. – P. 131-139. 13. *Hecht-Nielsen R.* Counterpropagation networks // Proc. Int. Conf. on Neural Networks. – San Diego, CA, 1990. – V. 3. – P. 17-20. 14. *Бодянский Е.В., Руденко О.Г.* Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применение. – Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с. 15. *Alavala C.R.* Fuzzy Logic and Neural Networks: Basic Concepts and Applications. – New Delhi: New Age Int. Ltd, 2008. – 276 p. 16. *Bodyanskiy Ye., Gorshkov Y., Otto P., Pliss I.* Medical image analysis using neuro-fuzzy network // Proc. 54. Int. Wiss. Kolloquium IWK-2009. – Ilmenau: TU Ilmenau, 2009. – P. 55-62. 17. *Kohonen T.* Improved version of learning vector quantization// Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks. – San Diego, CA, 1990. –v.1. –P.545-550. 18. *Kohonen T.* Self-Organizing Maps. –Berlin: Springer, 1995. –362 p. 19. *Shynk J.J.* Performance surfaces of a single-layer perceptron // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1990. – 1. – P.268-274. 20. *Бодянский Е.В., Михальов О.І., Плісс І.П.* Адаптивне виявлення розглядань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с. 21. *Райбман Н.С., Чадеев В.М.* Построение моделей процессов производства. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.

Поступила в редколлегию 15.01.2014

УДК 004.91:004.8

Класифікація текстових документів за допомогою нейронної мережі зустрічного поширення з контрольованим навчанням / Є. В. Бодяньський, Н. В. Рябова, О. В. Золотухін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 3–6.

У статті розглядаються актуальні методи класифікації політематичних текстів. Стверджується, що алгоритми, засновані на нечітких нейронних мережах, користуються значною популярністю, тому що забезпечують високу точність результатів.

Л. 2. Бібліогр.: 21 найм.

UDC 004.91:004.8

Classification of text documents using counter propagation neural network with controlled training / Ye.V. Bodyanskiy, N.V. Ryabova, O.V. Zolotukhin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 3-6.

In this article discusses the current classification methods polythematic texts. It is alleged that the algorithms based on fuzzy neural networks are highly popular because provide highly accurate results.

Fig. 2. Ref.: 21 items.

И.В. Гребенник¹, О.С. Чёрная²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, grebennik@onet.com.ua;² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, titovaolga90@gmail.com

ЦИКЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕЖНЫХ ПЕРЕСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье вводятся два типа транспозиций элементов в перестановке. Рассматривается их воздействие на циклическую структуру перестановок. Вводится понятие смежных перестановок. Доказываются утверждения о свойствах смежных перестановок.

МНОЖЕСТВО ПЕРЕСТАНОВОК, ПЕРЕСТАНОВОЧНЫЙ МНОГОГРАННИК, КРИТЕРИЙ СМЕЖНОСТИ, СВОЙСТВА ПЕРЕСТАНОВОК, ТРАНСПОЗИЦИЯ

Введение

Множество перестановок является одним из наиболее распространенных в научных и прикладных исследованиях в области комбинаторики и комбинаторной оптимизации [1–6]. Для перестановок широко исследованы многие свойства, в частности, касающиеся циклической структуры перестановок. Известны методы и алгоритмы, позволяющие производить разложение перестановок в произведение циклов и генерировать перестановки с заданной циклической структурой [1, 2, 5].

Одним из известных способов исследования комбинаторных множеств является их погружение в евклидово пространство, что позволяет использовать средства непрерывной математики при анализе комбинаторных задач [3]. В результате погружения комбинаторные множества приобретают новые свойства. В частности, элементы комбинаторных множеств являются вершинами комбинаторных многогранников [4], принадлежат семействам параллельных гиперплоскостей [3, 6]. Указанные свойства погруженных комбинаторных множеств составляют основу методов комбинаторной оптимизации [3, 6]. Выпуклая оболочка множества перестановок, погруженного в евклидово пространство, представляет собой перестановочный многогранник [4]. Одним из базовых свойств перестановочного многогранника является критерий смежности его вершин [3, 4]. Перестановки, соответствующие смежным вершинам перестановочного многогранника, далее в работе называются смежными перестановками.

Данная работа посвящена исследованию тех свойств смежных перестановок, которые являются существенными при анализе их циклической структуры.

В статье вводится классификация транспозиций элементов в перестановке. Она основана на том, каким образом соответствующая транспозиция влияет на циклическую структуру перестановки и к каким изменениям она приводит.

В работе рассматриваются только те транспозиции, которые соответствуют критерию смежности

вершин перестановочного многогранника. Таким образом, свойства, формулируемые на основе введенной классификации, справедливы для перестановок, смежных в многограннике перестановок. На основе этих свойств формулируются теоремы о циклических свойствах смежных перестановок.

Целью данной работы является исследование циклической структуры и свойств смежности перестановок на основе свойств транспозиций соседних элементов перестановок и свойств перестановочного многогранника.

1. Базовые определения

Рассмотрим P_n — множество перестановок без повторений из n действительных чисел $a_1 < a_2 < \dots < a_n$. Далее будем использовать следующее определение перестановки [5].

Определение. Линейное упорядочение элементов некоторого порождающего множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ называется перестановкой

$$\pi = \pi(a_1, a_2, \dots, a_n) = (\pi(a_1), \pi(a_2), \dots, \pi(a_n)) = (a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n})$$

или, если необходимо подчеркнуть тот факт, что она содержит n элементов, n -перестановкой.

Рассмотрим некоторую перестановку

$$\pi = (\pi(a_1), \pi(a_2), \dots, \pi(a_n)) \in P_n,$$

и её элемент $\pi(a_j) = a_j, \forall j \in J_n$. Тогда можно записать: $\pi(a_j) = \pi(\pi(a_j)) = \pi^2(a_j)$. Обобщенно можно эту формулу представить в таком виде:

$$\pi^{k-1}(a_j) = \pi(\pi^{k-1}(a_j)) = \pi^k(a_j), \forall i, j \in J_n, k \ll n.$$

Таким образом [1, 5], если для некоторого $l \geq 1$ имеем $\pi^l(a_i) = a_i, i \in J_n$, и элементы $a_i, \pi(a_i), \pi^2(a_i), \dots, \pi^{l-1}(a_i)$ все различны, то последовательность $(a_i, \pi(a_i), \pi^2(a_i), \dots, \pi^{l-1}(a_i))$ называется циклом длины l .

Определение [3]. Циклической перестановкой называется такая перестановка \neq из n элементов, которая содержит единственный цикл длины n , то есть $\pi^n(a_i) = a_i, \forall i \in J_n$. Такие перестановки будем обозначать \neq_C .

Множество циклических перестановок из n действительных чисел $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ обозначим P_n^C .

Отметим, что $Card P_n^C = (n-1)!$ [1].

Циклы

$$(a_i, \pi(a_i), \dots, \pi^{l-1}(a_i))$$

$$\text{и } (\pi^j(a_i), \pi^{j+1}(a_i), \dots, \pi^{l-1}(a_i), a_i, \dots, \pi^{j-1}(a_i))$$

считаются эквивалентными. Каждый элемент множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ встречается в единственном цикле перестановки \neq , и возможно рассматривать \neq как объединение непересекающихся циклов, или по-другому, как произведение различных циклов C_1, \dots, C_k , записывая в виде $\pi = C_1 C_2 \dots C_k$. Например, если перестановка $\neq : [7] \rightarrow [7]$ определена равенствами $\pi(1) = 4, \pi(2) = 2, \pi(3) = 7, \pi(4) = 1, \pi(5) = 3, \pi(6) = 6, \pi(7) = 5$, то $\pi = (14)(2)(375)(6)$. Возможны различные обозначения такого представления \neq ; например, имеем: $\pi = (753)(14)(6)(2)$. Можно определить стандартное представление; при этом в каждом цикле пишется первым его наибольший элемент, и циклы записываются в порядке возрастания их максимальных элементов. Таким образом, стандартная форма рассмотренной выше перестановки \neq есть $(2)(41)(6)(753)$.

Исходя из обозначений, используемых в определении циклической перестановки, рассмотрим некоторое подмножество $\{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_k}\}$ множества порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, такое что, $a_{i_{k+1}} = \pi^{l''}(a_{i_k})$, где $l'' \leq n, k, l \in J_n, \forall k, i_k \in J_n$, и назовем его цепочкой. Выделение одной цепочки возможно только из одного цикла. То есть, если рассматривается циклическая перестановка $p \in P_n^C$, в цепочке могут быть зафиксированы любые элементы и связи между ними. Если же исходная перестановка состоит из нескольких циклов, $p \in P_n \setminus P_n^C$, то одна цепочка может быть записана с использованием только тех элементов, которые принадлежат одному циклу.

Опишем способ наглядного представления цепочек. Рассмотрим циклическую перестановку $p \in P_n^C$:

$$\begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 2 & 5 & 8 & 3 & 7 \\ \downarrow \nearrow \\ 4 & 6 & 2 & 5 & 8 & 3 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

и выделим в ней цепочку

$$\begin{aligned} &(a_1, \pi(a_1), \pi^2(a_1), \pi^3(a_1)) = \\ &= (1, \pi(1), \pi^2(1), \pi^3(1)) = (1, 4, 6, 2) : \\ &\begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 \\ \downarrow \nearrow \downarrow \nearrow \downarrow \\ 4 & 6 & 2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Так же часть цепочки может быть скрыта на представлении. Полная запись:

$$(1, \pi(1), \pi^2(1), \pi^3(1), \pi^4(1), \pi^5(1), \pi^6(1)) = (1, 4, 6, 2, 5, 8, 3).$$

$$\text{Часть цепочки: } (a_1, \pi(a_1), \pi^3(a_1), \pi^6(a_1)) = (1, 4, 2, 3).$$

$$\begin{aligned} &\begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 2 & 5 & 8 \\ \downarrow \nearrow \downarrow \nearrow \downarrow \nearrow \downarrow \nearrow \downarrow \nearrow \\ 4 & 6 & 2 & 5 & 8 & 3 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & \pi^2(1) & \pi^5(1) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow & \nearrow \downarrow \\ 4 & 2 & 3 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & \pi(4) & \pi^2(2) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \\ 4 & 2 & 3 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

2. Погружение в евклидово пространство и базовые свойства многогранника перестановок Π_n

Одним из широко используемых способов исследования комбинаторных множеств является их погружение в евклидово пространство [3, 6].

Осуществим отображение множества перестановок P_n в арифметическое евклидово пространство R^n . Согласно [3, 6] указанное отображение (называемое погружением) зададим в виде:

$$\begin{aligned} &f : P_n \rightarrow R^n, \forall p = (p_1, p_2, \dots, p_n) \in P_n, \\ &x = f(p) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in E \subset R^n, \\ &x_i = p_i, i \in J_n, J_n = \{1, 2, \dots, n\}. \end{aligned}$$

В результате погружения f множеству P_n поставим во взаимнооднозначное соответствие множество $E \subset R^n : E_n = f(P_n)$.

Пусть P_n – множество перестановок из n элементов. Каждой перестановке

$$\pi = (\pi(a_1), \pi(a_2), \dots, \pi(a_n)) \in P_n$$

сопоставим точку

$$a_\pi = f(\pi) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in E \subset R^n.$$

Выпуклая оболочка точек

$$\{a_\pi = (a_{\pi_1}, a_{\pi_2}, \dots, a_{\pi_n}) : \forall \pi \in P_n\} \text{ в } R^n,$$

является перестановочным многогранником Π_n , $vert \Pi_n = E_n$ – его множество вершин [4].

Отметим некоторые комбинаторные свойства перестановочного многогранника [4].

1. Элементы множества $E_n = vert \Pi_n$ и только они являются вершинами многогранника $\Pi_n(a)$. Другими словами, существует взаимнооднозначное соответствие между перестановками – элементами множества P_n и вершинами многогранника $\Pi_n(a)$ – элементами множества $vert \Pi_n$.

Далее будем говорить, что перестановка $\pi \in P_n$ соответствует вершине $a_\pi = f(\pi)$ перестановочного многогранника Π_n .

2. Критерий смежности вершин перестановочного многогранника $\Pi_n(a)$. В соответствии с ним, вершиной перестановочного многогранника, смежной с вершиной $v = (a_{v_1}, a_{v_2}, a_{v_3}, \dots, a_{v_n}) \in \Pi_n(a)$, соответствующей перестановке $p \in P_n$, является вершина, отвечающая перестановке p_k , полученной из p транспозицией компонентов, равных k и $k+1, \forall k \in J_{n-1}$.

Используя понятие смежности вершин перестановочного многогранника, введем определение смежных перестановок.

Определение. Две перестановки $p_1, p_2 \in P_n$, соответствующие вершинам $v_1, v_2 \in \Pi_n$, называются смежными перестановками, если вершины v_1, v_2 являются смежными вершинами многогранника Π_n .

3. Циклическая структура перестановок различных элементов

Рассмотрим произвольную перестановку $p \in P_n$, содержащую, в общем случае, несколько циклов. Не снижая общности, будем считать, что множество порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ имеет вид $A = \{1, 2, \dots, n\}$.

Определение. Для любой вершины $v \in \text{vert } \Pi_n$ транспозицию компонент, равных

$$i \text{ и } i+1, i \in J_n, \tag{1}$$

принадлежащих одному циклу длины $k, k \leq n$, соответствующей перестановке $p \in P_n$, будем называть транспозицией «разрыва». Будем обозначать такую транспозицию T_p .

Определение. Для любой вершины $v \in \text{vert } \Pi_n$ транспозицию компонент, равных i и $i+1, i \in J_{n-1}$, принадлежащих двум разным циклам длины k_1 и k_2 соответствующей перестановке $p \in P_n$, будем называть транспозицией «соединения». Будем обозначать такую транспозицию T_C .

Названия для этих двух типов транспозиций связаны с их воздействием на циклическую структуру исходной перестановки. В соответствии с этим транспозиция «разрыва» делает из одного цикла два, разрывая его, а транспозиция «соединения» из двух циклов составляет один, соединяя их.

Докажем соответствующие леммы о воздействии транспозиций на циклическую структуру перестановки.

Лемма. Пусть вершина $v \in \text{vert } \Pi_n$, соответствующая перестановке $p \in P_n$, содержит цикл длины $k, k \leq n$. Транспозиция «разрыва» для элементов цикла вида (1) приведет к образованию смежной с v вершины $v_1 \in \text{vert } \Pi_n$, для которой соответствующая перестановка $p_1 \in P_n$ содержит, по крайней мере, два цикла длины k_1 и $k_2, k_1 + k_2 = k$.

Доказательство. Проведем доказательство от противного. Предположим, что существует такой цикл длины $k, \pi^k(i) = x, k \leq n$, которому принадлежат компоненты i и $i+1$. Рассмотрим цепочку, образованную компонентами i и $i+1$. Компоненты i и $i+1$ связаны следующим образом:

$$\begin{pmatrix} x & \pi^{k_1}(i) & \pi^{k_2}(i+1) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \\ i & i+1 & x \end{pmatrix}.$$

Здесь компонент $x \in A$ — элемент порождающего множества, ссылающийся на компонент i , значение которого может быть произвольным.

Произведем транспозицию компонент i и $i+1$:

$$\text{получится } \begin{pmatrix} x & \pi^{k_2}(i+1) & \pi^{k_1}(i) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow & \downarrow \\ i+1 & x & i \end{pmatrix}.$$

Получаем: $\pi^{k_1}(i) = i, \pi^{k_2}(i+1) = i+1, k_1 + k_2 = k$, два цикла длины k_1 и k_2 .

Лемма доказана.

Лемма. Пусть вершина $v \in \text{vert } \Pi_n$, соответствующая перестановке $p \in P_n$, содержит два цикла, имеющих длины $k_1, k_2, k_1 + k_2 = k \leq n$. Транспозиция «соединения» для элементов цикла вида (1) приведет к образованию смежной с v вершины $v_1 \in \text{vert } \Pi_n$, для которой соответствующая перестановка $p_1 \in P_n$ содержит, по крайней мере, один цикл длины $k_1 + k_2 = k$.

Доказательство. Исходная перестановка $p \in P_n \setminus P_n^C$ состоит, по крайней мере, из двух циклов длин $k_1, k_2, k_1 + k_2 \leq n$. И существует компонент $i, i \in J_n$, такой что $i = \pi^1(x)$, следовательно, можно записать последовательность $(x, i, \pi^2(x), \dots, \pi^{k_1-1}(x), x)$, $i \in J_n$, и компонент $i+1 \in (y, \pi(y), \pi^2(y), \dots, \pi^{k_2-1}(y))$, причем $\exists b \in J_n, b < k_2 - 2$, и $i+1 = \pi^{b+1}(y)$.

Исходные цепочки:

$$\begin{pmatrix} x & \pi^{k_1-2}(i) & y & \pi^b(y) & \pi^{k_2-b-2}(y) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \\ i & x & \pi(y) & i+1 & y \end{pmatrix}.$$

Имеются два цикла, длины которых могут быть вычислены:

$$\left. \begin{matrix} x = \pi^{k_1-1}(i) \\ i = \pi^1(x) \end{matrix} \right\} \Rightarrow x = \pi^{k_1-1}(\pi^1(x)) = \pi^{k_1-1+1}(x) = \pi^{k_1}(x),$$

$$y = \pi^{k_2-b-1}(i+1) \left. \begin{matrix} \\ i+1 = \pi^{b+1}(y) \end{matrix} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \pi^{k_2-b-1}(\pi^{b+1}(y)) = \pi^{k_2-b-1+b+1}(y) = \pi^{k_2}(y).$$

Произведем транспозицию компонент i и $i+1, i \in J_{n-1}$:

$$\begin{pmatrix} x & \pi^{k_1-2}(i) & y & \pi^b(y) & \pi^{k_2-b-2}(i+1) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \\ i & x & \pi(y) & i+1 & y \end{pmatrix} \xrightarrow{i \leftrightarrow i+1} \Rightarrow$$

$$\begin{pmatrix} x & \pi^{k_2-b-2}(i+1) & y & \pi^b(y) & \pi^{k_1-2}(i) \\ \downarrow \nearrow & \downarrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \nearrow & \downarrow \\ i+1 & y & \pi(y) & i & x \end{pmatrix}.$$

В результате после транспозиции $i \leftrightarrow i+1$ получили единый цикл длины:

$$\left. \begin{matrix} x = \pi^{k_1-1}(i) \\ i+1 = \pi^1(x) \\ y = \pi^{k_2-b-1}(i+1) \\ i = \pi^{b+1}(y) \end{matrix} \right\} \Rightarrow x = \pi^{k_1-1+b+1+k_2-b-1+1}(x) = \pi^{k_1+k_2}(x).$$

Лемма доказана.

Свойство. Пусть $p \in P_n$ – произвольная перестановка, i, j – элементы перестановки, не принадлежащие одному циклу. Не более чем за $n-1$ ТС из $p \in P_n$ можно получить перестановку $p_1 \in P_n$, содержащую цикл, в который входят оба элемента i, j .

Доказательство. Рассмотрим вначале случай, когда для построения цикла нужно выполнить максимальное число ТС. Для этого необходимо, чтобы перестановка $p \in P_n$ не имела ни одного цикла и состояла из n неподвижных точек:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n-1 & n \\ \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & \dots & n-1 & n \end{pmatrix}.$$

Наибольшее число транспозиций вида $i \leftrightarrow i+1, i \in J_n$ в таком случае необходимо будет произвести, для того чтобы объединить в один цикл элементы 1 и n .

Для этого необходимо произвести следующие ТС:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n-2 & n-1 & n \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & 3 & \dots & n-2 & n-1 & n \\ \hline \text{ТС} & & & & & \text{ТС} & \text{ТС} \end{pmatrix}.$$

Если n – четное, то необходимо произвести минимум $\frac{n}{2}-1$ ТС с одной стороны и $\frac{n}{2}-1$ ТС с другой, получив таким образом два цикла длины $\frac{n}{2}$.

Всего будет произведено $(\frac{n}{2}-1) + (\frac{n}{2}-1) = n-2$ ТС. И последней перестановкой соединения необходимо объединить два цикла длины $\frac{n}{2}$. Итого будет произведено $(n-2)+1 = n-1$ ТС.

Рассмотрим случай, когда n – нечетное:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & (n+1)/2 & n-2 & n-1 & n \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & 3 & (n+1)/2 & n-2 & n-1 & n \\ \hline \text{ТС} & & & & & \text{ТС} & \text{ТС} \end{pmatrix}.$$

С помощью $\frac{n-1}{2}-1$ ТС будет получено два цикла длиной $\frac{n-1}{2}$ и неподвижная точка. Они с помощью двух транспозиций объединяются в один цикл.

Итого получается: $(\frac{n-1}{2}-1) + (\frac{n-1}{2}-1) + 2 = n-1$.

Свойство доказано.

Оценим количество ТС и ТР, которые возможно произвести для некоторого цикла, если исходная перестановка $p \in P_n$ содержит несколько циклов различной длины. Так как любой порождающий элемент, кроме первого и последнего, имеет два элемента соседних по значению, следовательно, с каждым компонентом цикла i можно произвести 2 транспозиции – одну с компонентом $i-1$ и одну с компонентом $i+1$. При этом, если компоненты,

участвующие в транспозиции, принадлежат разным циклам, это будет ТС, если одному – то ТР.

Теорема. Рассмотрим некоторую перестановку $p \in P_n$, состоящую из нескольких циклов произвольной длины. Предположим, что один из этих циклов $C_j, j \in J_n$ длины m , тогда количество транспозиций вида (1), которые можно совершить с использованием элементов данного цикла, равно

$$T = 2m - l - g,$$

где: m – количество элементов в рассматриваемом цикле; l – количество пар компонентов равных $i, i+1$, принадлежащих C_j ; g – величина, принимающая следующие значения:

$$g = \begin{cases} 2, & \text{если } 1 \in C_j \text{ и } n \in C_j \\ 1, & \text{если } 1 \in C_j \text{ или } n \in C_j \\ 0, & \text{если } 1 \notin C_j \text{ и } n \notin C_j \end{cases}$$

Доказательство. Рассмотрим исходный цикл $C_j, j \in J_n$ длины m .

Так как любой порождающий элемент имеет два элемента, соседних по значению, следовательно, с каждым компонентом цикла i можно произвести 2 транспозиции – одну с компонентом $i-1$ и одну с компонентом $i+1$ – итого $2m$ транспозиций.

Необходимо учесть, что если пара компонентов i и $i+1, i \in J_{n-1}$, принадлежит одному циклу, то их транспозиция будет учтена два раза. Таким образом, необходимо от величины $2m$ отнять l – количество пар компонентов $i, i+1, i \in J_{n-1}$, принадлежащих $C_j, j \in J_n$.

Также необходимо отметить, что существуют два порождающих элемента, обладающих одним соседом вместо двух – это компоненты «1» и « n ». Соответственно, если они оба принадлежат циклу C_j для получения конечного результата необходимо отнять 2. Если один из компонентов или «1» или « n » принадлежат циклу, необходимо отнять 1.

Таким образом, получаем величину g , принимающую следующие значения:

$$g = \begin{cases} 2, & \text{если } 1 \in C_j \text{ и } n \in C_j \\ 1, & \text{если } 1 \in C_j \text{ или } n \in C_j \\ 0, & \text{если } 1 \notin C_j \text{ и } n \notin C_j \end{cases}$$

Итого количество уникальных транспозиций компонентов i и $i+1, i \in J_{n-1}$, которые можно совершить с использованием элементов данного цикла, равно $T = 2m - l - g$.

Теорема доказана.

Следствие. Рассмотрим некоторую перестановку $p \in P_n$, состоящую из нескольких циклов произвольной длины. Предположим, что один из этих циклов $C_j, j \in J_n$, длины m , тогда количество транспозиций «соединения», которые можно совершить с использованием элементов данного цикла, равно

$$T_C = T - l,$$

где T – общее количество транспозиций, согласно теореме 1, l – количество пар компонент равных $i, i+1$, принадлежащих C_j , $j \in J_n$.

Доказательство. Если из общего количества уникальных транспозиций вычтуть те, в которых оба компонента принадлежат циклу C_j , останутся только транспозиции, в которых один из компонентов принадлежит рассматриваемому циклу C_j , а второй произвольному, отличному от C_j циклу в перестановке $p \in P_n$. Согласно определению все эти транспозиции будут транспозициями «соединения».

Следствие доказано.

Следствие. Рассмотрим некоторую перестановку $p \in P_n$, состоящую из нескольких циклов произвольной длины. Предположим, что один из этих циклов C_j , $j \in J_n$ длины m , тогда количество транспозиций «разрыва», которые можно совершить с использованием элементов данного цикла, равно

$$T_p = T - T_C = l,$$

где T – общее количество транспозиций, согласно теореме 1; T_C – количество транспозиций «соединения», согласно следствию 1; l – количество пар компонент равных $i, i+1$, принадлежащих C_j , $j \in J_n$.

Доказательство. Так как l – количество пар компонент равных $i, i+1$, $i \in J_n$, принадлежащих C_j , а согласно определению транспозиция компонент, принадлежащих одному циклу, является транспозицией «разрыва», следовательно, количество соответствующих пар и T_p совпадает.

Так как любая транспозиция вида (1) может быть либо транспозицией «разрыва» либо транспозицией «соединения», следовательно, так же можно вычислить T_p путем вычитания из общего количества транспозиций T_C .

Следствие доказано.

Выводы

Данная работа посвящена исследованию смежных перестановок и их циклических свойств.

На базе известного критерия смежности вершин перестановочного многогранника P_n введены определения двух типов транспозиций

компонентов перестановки. Исследованы изменения в циклической структуре перестановок при совершении транспозиций каждого из типов.

На основании введенных определений сформулированы леммы о воздействии разных типов транспозиций на циклическую структуру перестановок, смежных с данной перестановкой.

Используя доказанные леммы о циклической структуре смежных перестановок, доказывается теорема об оценке количества транспозиций каждого типа для произвольной перестановки $p \in P_n$.

Список литературы: 1. Стенли, Р. Перечислительная комбинаторика: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 440 с. 2. Гребенник И.В. Описание и генерация перестановок, содержащих циклы // Кибернетика и системный анализ. – 2010. – № 6. – С. 97 – 105. 3. Стоян, Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев – К.: Наук. думка, 1986. – 268 с. 4. Емеличев, В. А. Многогранники, графы, оптимизация / В. А. Емеличев, М. М. Ковалев, М. К. Кравцов. – М.: Наука, 1981. – 344 с. 5. Vona, M. Combinatorics of permutations. / M. Vona – Chapman & Hall/CRC, 2004. – 337 с. 6. Стоян, Ю.Г. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації / Ю.Г. Стоян, О.О. Ємець – К.: Інститут системних досліджень освіти, 1993. – 188 с.

Поступила в редколлегию 20.01.2014

УДК 519. 854. 2

Циклічні властивості суміжних перестановок різних елементів / І.В. Гребенник, О.С. Чорна // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 7–11.

У статті вводяться два типи транспозицій елементів у перестановці. Розглядається їх вплив на циклічну структуру перестановок. Вводиться поняття суміжних перестановок. Доводяться твердження про властивості суміжних перестановок.

Бібліогр.: 6 найм.

UDK 519. 854. 2

Cyclic properties adjacent permutations of various elements / I. V. Grebennik, O. S. Chorna // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 7–11.

This paper introduced two types of transpositions of elements in the permutation. Consider their impact on the cyclic structure changes. The concept adjacent permutations is introduced. Brought allegations of properties adjacent permutations.

Ref.: 6 items.

УДК 004.93

Т. А. Зайко¹, А. А. Олейник², С. А. Субботин³¹ Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, tzyakun@mail.ru;² Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, olejnikaa@gmail.com;³ Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, subbotin@zntu.edu.ua

СИНТЕЗ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ АССОЦИАТИВНЫХ ПРАВИЛ

Рассмотрена задача построения диагностической модели качества кондитерской продукции. Для решения данной задачи предложено использовать ассоциативные правила. Выявлен набор ассоциативных правил, позволяющий оценивать качество изделий. Выполнен отбор информативных признаков и построена нейро-нечеткая диагностическая модель качества кондитерской продукции.

АССОЦИАТИВНОЕ ПРАВИЛО, ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ СЕТЬ, ОТБОР ПРИЗНАКОВ, СИНТЕЗ, ТРАНЗАКЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ

Введение

Кондитерское производство является перспективным и активно развивающимся сегментом современного рынка пищевой отрасли. Его рост по оценкам экспертов [1] составляет 15–18% в год, а рентабельность – порядка 20–30%.

Традиционно на рынке кондитерских изделий работает большое число крупных западных и отечественных производителей, имеющих современное оборудование и многомиллионные рекламные бюджеты. Вхождение в эту сферу частного инвестора на сегодняшний день крайне затруднительно. Исключение составляют предприятия малого бизнеса, которые владеют уникальными технологиями производства, позволяющими достичь высокого качества изделий при снижении себестоимости, а также снизить издержки на сырье и материалы [2, 3].

В настоящее время разрыв в соотношении долей потребления импортного и отечественного товаров кондитерского производства достаточно велик [2], что обуславливает необходимость разработки и внедрения новых методов и средств повышения качества отечественной продукции.

Однако для возможности конкуренции с крупными отечественными производителями, а также с зарубежными компаниями, предприятия малого и среднего бизнеса нуждаются во внедрении эффективных автоматизированных систем управления качеством, учитывающих специфику конкретного предприятия и особенности изготавливаемой продукции.

Разработка таких систем связана с необходимостью построения математических моделей, описывающих зависимости показателей качества продукции (рассчитанных значений объективных критериев и количественных оценок экспертов для субъективных показателей) от характеристик сырья, оборудования и параметров технологических процессов производства изделий.

Целью настоящей работы является синтез диагностической модели качества кондитерской продукции на основе ассоциативных правил.

1. Постановка задачи

Одним из достаточно перспективных рынков в пищевой отрасли в настоящее время остается рынок печенья [3]. Рассмотрим задачу построения модели качества изделий, получаемых в результате технологического процесса, обобщенная схема которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная модель технологического процесса производства печенья

Как показано на рис. 1, процесс производства печенья предполагает:

- просеивание муки;
- замес теста;
- формирование теста;
- выпечку;
- принудительное охлаждение;
- упаковку готовых изделий.

На качество готовых изделий, получаемых в результате выполнения рассмотренного технологического процесса, существенное влияние оказывает не только качество и количество исходного сырья, но также и параметры технологического процесса.

Для конкретизации задачи построения модели качества печенья использовались данные наблюдений за качеством продукции, характеристиками сырья и оборудования, предоставленные ООО «Днепр-трейд» (г. Запорожье).

Выборка D содержала значения следующих характеристик сырья и параметров технологического процесса для 956 партий изделий (наблюдений): x_1 – сорт муки пшеничной; x_2 – зольность муки пшеничной, %; x_3 – влажность муки пшеничной, %; x_4 – клейковина муки пшеничной, %; x_5 – индекс деления клейковины муки пшеничной, ед.; x_6 – масса муки пшеничной в партии, кг; x_7 – сорт муки овсяной; x_8 – зольность муки овсяной, %; x_9 – влажность муки овсяной, %; x_{10} – клейковина муки овсяной, %; x_{11} – масса муки овсяной в партии, кг; x_{12} – влажность сахара, %; x_{13} – масса сахара в партии, кг; x_{14} – жирность маргарина, %; x_{15} – температура плавления маргарина, °С; x_{16} – масса маргарина в партии, кг; x_{17} – содержание сухих веществ в повидле яблочном, %; x_{18} – термостабильность повидла яблочного, °С; x_{19} – масса повидла яблочного в партии, кг; x_{20} – влажность соды, %; x_{21} – масса соды в партии, кг; x_{22} – влажность ванилина, %; x_{23} – массовая доля ванилина, %; x_{24} – масса ванилина в партии, кг; x_{25} – влажность корицы, %; x_{26} – масса корицы в партии, кг; x_{27} – влажность соли, %; x_{28} – масса соли в партии, кг; x_{29} – жесткость воды, ммоль/л; x_{30} – водородный показатель (рН) воды, ед; x_{31} – общая минерализация воды, мг/л; x_{32} – температура воды, °С; x_{33} – количество воды в партии, л; x_{34} – время просеивания муки, мин; x_{35} – время замеса теста, мин; x_{36} – частота вращения передней лопасти машины при замесе теста, Гц; x_{37} – частота вращения задней лопасти машины при замесе теста, Гц; x_{38} – время формирования теста, мин; x_{39} – время выпечки, мин; x_{40} – температура выпечки, °С; x_{41} – время принудительного охлаждения, мин; x_{42} – влажность воздуха в производственном помещении, %; x_{43} – температура воздуха в производственном помещении, °С.

После производства партии изделий их качество у определяли эксперты и потребители ограно-лептически по шкале: 0 – невкусно, хуже образцов, изготавливаемых конкурентами, 1 – приемлемо, 2 – очень вкусно, лучше других изделий-аналогов).

В оценивании изделий принимали участие пять человек (два эксперта – технолог и дегустатор, три потребителя – взрослые и дети), их оценки в баллах складывались, в результате чего формировалось численное значение выходного параметра у по шкале от нуля до десяти.

Задача заключалась в выявлении скрытых зависимостей типа $X \rightarrow Y$, позволяющих объяснить внутреннюю сущность исследуемых процессов, а также в построении модели класса качества от параметров сырья, оборудования и техпроцесса.

2. Выявление ассоциативных правил и синтез диагностической нейро-нечеткой модели

Поскольку процесс измерения большинства приведенных параметров не автоматизирован и предполагает вовлечение людей, часть параметров,

характеризующих выпускаемую продукцию, может быть не зафиксирована или содержать погрешность измерений, в результате чего выборка наблюдений содержит пропуски значений признаков. Поэтому применение известных методов построения моделей на основе прецедентов [4–7] является весьма затруднительным для имеющейся выборки, вследствие их неспособности работать с пропущенными значениями.

Это обуславливает целесообразность использования методов на основе ассоциативных правил [8, 9]. Такие методы позволяют работать с информацией, представленной в виде транзакционных баз данных [8–11], в которых каждая транзакция (запись) содержит информацию о конкретном изделии и измеренных характеристиках техпроцесса при его изготовлении. Кроме того, построенные на основе соответствующих структур данных (наборов транзакций) базы ассоциативных правил позволяют выявлять скрытые зависимости между исследуемыми величинами и синтезировать модели, описывающие зависимости показателей качества продукции от характеристик сырья, оборудования и параметров технологических процессов.

Для возможности извлечения ассоциативных правил из транзакционных баз данных D , содержащих численные атрибуты, такие атрибуты преобразовываются к формату, доступному для применения известных методов поиска ассоциативных правил [8–11]. При этом требуется выполнять разбиение численных признаков на непересекающиеся интервалы, каждый из которых рассматривается затем как новый атрибут. Однако в таких случаях возникают проблемы выбора числа интервалов и разбиения на интервалы, кроме того существенно возрастает размерность решаемой задачи и требования к вычислительным ресурсам ЭВМ.

Поэтому в разработанном методе синтеза численных ассоциативных правил предлагается использовать подход на основе теории нечетких множеств [5, 6], позволяющий разбивать исходные признаки на нечеткие интервалы и работать с каждым признаком, а не с отдельными интервалами его разбиения. Кроме того, в предложенном методе при поиске ассоциативных правил используются рассчитанные оценки индивидуальной информативности признаков, что позволяет учитывать их значимость в исходной базе данных.

Предлагаемый метод может быть представлен следующими этапами:

- фазсификация транзакционной базы данных D ;
- определение значимости признаков;
- вычисление пороговых значений поддержки;
- построение базы численных ассоциативных правил.

На начальном этапе выполняется фазсификация базы транзакций D , т.е. приведение всех ее численных значений к нечеткому виду. Такое

преобразование позволит выделить нечеткие термы каждого признака для возможности выполнения дальнейшего извлечения ассоциативных правил. Как правило, признаки, описывающие исследуемые объекты или процессы, имеют различную информативность [4–6], поэтому с целью извлечения интересных ассоциативных правил, адекватно описывающих исследуемые зависимости, целесообразно учитывать индивидуальную значимость признаков. Важным этапом является определение пороговых значений поддержки наборов элементов, которое в предложенном методе происходит с использованием информации об индивидуальной значимости признаков, определенной ранее. При построении базы ассоциативных правил в процессе их извлечения используются значения индивидуальной информативности признаков, рассчитанные ранее, что позволяет учитывать значимость каждого атрибута при поиске правил.

Разработанный метод обеспечивает интеграцию описанных выше принципов, позволяет по заданным транзакционным базам данных строить наборы численных ассоциативных правил и на их основе извлекать новые знания об исследуемых объектах или процессах.

3. Эксперименты и результаты

Диагностическая модель качества кондитерских изделий строилась на основе заданной выборки D , фрагмент которой (пронормированные значения измеренных признаков) приведен в табл. 1, в которой пропущенные значения отображены с помощью символа «—».

Таблица 1

Фрагмент исходной выборки данных

№ партии	Пронормированные значения измеренных признаков												y
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	...	x_{43}		
1	1,0	0,23	0,14	0,9	0,72	0,42	1,0	—	—	...	0,18	0,9	
2	1,0	—	—	—	—	0,48	1,0	—	—	...	0,18	0,8	
3	0,75	0,15	0,24	0,9	0,72	0,44	1,0	0,2	0,2	...	0,09	0,9	
4	0,5	0,45	0,58	0,2	0,36	0,82	0,5	—	—	...	0,09	0,4	
5	0,75	—	—	—	—	0,48	1,0	0,27	0,3	...	0,18	0,7	
6	1,0	0,17	0,16	0,7	0,81	0,44	0,75	0,33	0,1	...	0,36	0,9	
7	1,0	—	—	—	—	0,48	0,75	0,27	0,15	...	0,27	1,0	
8	1,0	0,25	0,24	0,9	0,72	0,42	0,75	—	—	...	0,45	0,8	
9	0,75	0,34	0,42	0,5	0,27	0,61	0,5	0,4	0,4	...	0,27	0,6	
10	1,0	—	—	—	—	0,53	0,5	—	—	...	0,36	0,7	
...	
956	1,0	0,15	0,28	1,0	0,91	0,48	1,0	—	—	...	0,27	0,9	

На начальном этапе из заданной выборки выполнялось извлечение численных ассоциативных правил с помощью различных методов [8–11]. При поиске ассоциативных правил значения минимальной поддержки minsupport и минимальной достоверности minconfidence устанавливались следующими: 1% и 75% соответственно. Таким образом, обеспечивалось выявление правил,

содержащих наборы элементов, которые встречались не менее в 1% транзакций заданной транзакционной базы данных, и являющихся достоверными не менее, чем на 75%.

Результаты экспериментов по исследованию различных методов поиска численных ассоциативных правил приведены в табл. 2, в которой используются следующие обозначения: FARM – Fuzzy Association Rule Mining – метод извлечения ассоциативных правил с использованием нечеткого подхода [12]; FWARM – Fuzzy Weighted Association Rule Mining – метод извлечения ассоциативных правил с использованием нечеткого подхода [13]; МУЗП – метод синтеза численных ассоциативных правил с учетом значимости признаков [14]; $N_{\text{АП}}$ – число отобранных правил; $S_{\text{ср.}}$ – среднее значение поддержки в построенной базе правил; $C_{\text{ср.}}$ – среднее значение достоверности извлеченных правил; t – время поиска ассоциативных правил, секунд.

Таблица 2

Сравнение методов синтеза численных ассоциативных правил

Метод	Критерий сравнения			
	$N_{\text{АП}}$, шт.	$S_{\text{ср.}}$, %	$C_{\text{ср.}}$, %	t , сек.
FARM	129	5,6	81,9	19,1
FWARM	93	4,1	89,1	15,7
МУЗП	82	3,3	91,3	12,3

Как видно из табл. 2, метод FARM выделил большее число правил по сравнению с другими, однако их средняя достоверность $C_{\text{ср.}}$ была хуже, чем достоверность правил, построенных с помощью методов FWARM и МУЗП. Кроме того, средняя поддержка $S_{\text{ср.}}$ в построенной базе правил при использовании метода FARM больше по сравнению с применением методов FWARM и МУЗП. Это характеризует метод FARM как метод, позволяющий найти интересные правила $X \rightarrow Y$ с большими значениями поддержки, которые описывают очевидные и известные закономерности. Однако при этом не извлекаются правила, описывающие неочевидные, редко встречающиеся, но важные и достоверные зависимости.

Метод МУЗП позволил извлечь меньшее количество правил, которые, однако, характеризовались более приемлемыми значениями критерия $C_{\text{ср.}}$. Незначительное значение оценки $S_{\text{ср.}}$ свидетельствует о том, что среди извлеченных $N_{\text{АП}}$ правил выявлены интересные закономерности на основе редко встречающихся данных. Обобщив полученные результаты можно сделать вывод о том, что наиболее приемлемые результаты показал метод МУЗП [14].

В результате исследований выявлено множество зависимостей в виде продукционных правил «ЕСЛИ выполняется набор условий, ТО верным

будет некоторое утверждение», примерами которых являются следующие:

1) ЕСЛИ клейковина муки пшеничной = 20 % И индекс деления клейковины муки пшеничной = 115 ед. И масса муки овсяной в партии = 16 кг И жирность маргарина = 82 % И масса повидла яблочного в партии = 6,2 кг И влажность воздуха в производственном помещении = 60 % И температура воздуха в производственном помещении = 22 °С, ТО качество изделия = 9 ед.;

2) ЕСЛИ зольность муки пшеничной = 0,45 % И влажность муки пшеничной = 14 %, ТО клейковина муки пшеничной = 21 %;

3) ЕСЛИ зольность муки пшеничной = 0,5 % И клейковина муки пшеничной = 22 % И индекс деления клейковины муки пшеничной = 110 ед. И масса муки пшеничной в партии = 39 кг И масса маргарина в партии = 16 кг И масса ванилина в партии = 0,005 кг И время просеивания муки = 10 мин., ТО качество изделия = 10 ед.;

4) ЕСЛИ масса муки пшеничной в партии = 52 кг И клейковина муки пшеничной = 15 % И масса муки овсяной в партии = 12 кг И масса маргарина в партии = 8 кг, ТО качество изделия = 2 ед.;

Важно отметить, что выявленные зависимости позволяют судить не только о качестве изделия (например, с помощью первого, третьего, четвертого правил из приведенных), но также дают возможность оценивать некоторые другие характеристики сырья и продукции (например, зольность, клейковину, индекс деления клейковины и т. п.), которые являются трудноизмеримыми в условиях производства малых предприятий. Оценивание характеристик сырья путем применения извлеченных правил позволит проверять качество сырья, получаемого от отдельных поставщиков. Кроме того, своевременно выявленное сырье с неприемлемыми характеристиками позволит, в свою очередь, существенно уменьшить выход готовых изделий с низким качеством.

Кроме того, выявленный набор ассоциативных правил позволил судить об информативности признаков $x_1 - x_{43}$ из базы транзакций D по отношению к выходному параметру (классу качества продукции). Выявлено, что признаки x_{10} , x_{15} , x_{18} , x_{20} , x_{23} , x_{27} , x_{29} , x_{30} , x_{31} , x_{36} , x_{37} не входят ни в одно из ассоциативных правил, связанных с выходным параметром y , что позволяет судить об их неинформативности по отношению к выходу y . Заметим, что известные методы отбора признаков [6, 15, 16] предназначены для обработки выборок данных без пропусков, что усложняет или в ряде случаев делает невозможным их применение на практике для выявления набора информативных признаков на основе данных, представленных в виде баз транзакций.

После выделения набора информативных признаков выполнялось построение модели

зависимости класса качества от параметров сырья, характеристик оборудования и технологического процесса производства. В качестве базиса для построения модели качества использовалась нейро-нечеткая сеть на основе правил Мамдани [4, 6, 7, 17], получившая широкое распространение при решении задач распознавания, классификации, диагностирования и др.

Для построения нейро-нечеткой модели по заданной транзакционной базе данных использовался метод синтеза нейро-нечетких сетей на основе ассоциативных правил [18], позволяющий синтезировать нейро-модели путем определения их структуры и параметров с помощью извлеченных ассоциативных правил. Для сравнения метода [18] с известными аналогами база транзакций D преобразовывалась к обучающей выборке, содержащей значения всех признаков для всех экземпляров. Для этого исключались транзакции с большим количеством (более половины) признаков с отсутствующими значениями (пропущенные данные). В оставшихся транзакциях пропуски заполнялись средними значениями соответствующих признаков.

Таким образом, выполнялось сравнение таких методов построения нейро-нечетких моделей:

1) метод, в котором структура сети формируется путем непосредственного отображения каждого экземпляра выборки данных в соответствующее правило, а параметры блоков нейромодели определяются с помощью метода обратного распространения ошибки [4, 17];

2) метод, в котором структура нейро-нечеткой модели определяется путем кластеризации выборки, а параметры нейроэлементов настраиваются методом обратного распространения ошибки [4, 17];

3) метод синтеза нейро-нечетких сетей на основе ассоциативных правил [18].

Результаты экспериментов показали, что среднеквадратическая ошибка построенных нейро-сетевых моделей, рассчитанная для данных обучающей выборки, составила, 0,032, 0,049 и 0,041 соответственно для методов 1, 2 и 3. Это объясняется тем, что в первом методе каждый экземпляр выборки отображается правилом и используется в нейро-нечеткой модели, что повышает точность на данных обучающей выборки, но понижает ее интерпретируемость и обобщающие способности. При использовании тестовых данных среднеквадратическая ошибка синтезированных нейро-нечетких сетей составила 0,061, 0,058 и 0,052 соответственно.

Кроме того, важно отметить, что второй и третий методы не позволили построить нейро-модели по данным, представленным в виде базы транзакций. Следовательно, результаты экспериментов показали, что метод [18] позволяет на основе данных, представленных в виде баз транзакций, синтезировать нейро-нечеткие модели, обладающие приемлемыми аппроксимационными и обобщающими способностями.

Выводы

В работе решена актуальная задача синтеза диагностической модели для контроля качества кондитерской продукции на основе ассоциативных правил.

Выявлен набор ассоциативных правил, позволяющий прогнозировать качество изделий в зависимости от характеристик сырья и параметров технологического процесса, а также выявлены зависимости между характеристиками сырья и получаемой продукции (например, зольность, клейковина, индекс деления клейковины и т. п.), которые являются трудноизмеримыми в условиях производства малых предприятий. Оценивание характеристик сырья путем применения извлеченных правил позволит проверять качество сырья, получаемого от отдельных поставщиков. Кроме того, своевременно выявленное сырье с неприемлемыми характеристиками позволит в свою очередь существенно уменьшить количество готовых изделий с низким качеством.

Выполнен отбор информативных признаков и построена нейро-нечеткая диагностическая модель качества кондитерской продукции, обобщающая информацию, представленную в виде базы транзакций и содержащую сведения о характеристиках используемого сырья, его параметрах, а также параметрах оборудования и техпроцессов.

Работа выполнена в рамках государственной научно-исследовательской темы Запорожского национального технического университета “Интеллектуальные информационные технологии автоматизации проектирования, моделирования, управления и диагностирования производственных процессов и систем” при поддержке проекта “Centers of Excellence for young REsearchers (CERES)” (№544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES) программы “Темпус” Европейской комиссии.

Список литературы: 1. *Edwards W. P.* The Science of Sugar Confectionery / W. P. Edwards. — London : Royal Society of Chemistry, 2000. — 166 p. 2. *Зубченко А. В.* Технология кондитерского производства / А. В. Зубченко. — Воронеж : Воронежская государственная технологическая академия, 1999. — 432 с. 3. *Jackson E. B.* Sugar Confectionery Manufacture / E. B. Jackson. — Berlin : Springer, 1995. — 400 p. 4. *Encyclopedia of artificial intelligence* / Eds.: J. R. Dopico, J. D. de la Calle, A. P. Sierra. — New York : Information Science Reference, 2009. — Vol. 1–3. — 1677 p. 5. *Engelbrecht A.* Computational intelligence: an introduction / A. Engelbrecht. — Sidney : John Wiley & Sons, 2007. — 597 p. 6. *Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей* : монография / [А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин]. — Запорожье: ОАО “Мотор Сич”, 2009. — 468 с. 7. *Shin Y. C.* Intelligent systems : modeling, optimization, and control / C. Y. Shin, C. Xu. — Boca Raton: CRC Press, 2009. — 456 p. 8. *Gkoulalas-Divanis A.* Association Rule Hiding for Data Mining / A. Gkoulalas-

Divanis, V. S. Verykios. — New York : Springer-Verlag. — 2010. — 150 p. 9. *Adamo J.-M.* Data mining for association rules and sequential patterns: sequential and parallel algorithms / J.-M. Adamo. — New York : Springer-Verlag. — 2001. — 259 p. 10. *Zhao Y.* Post-mining of association rules: techniques for effective knowledge extraction / Y. Zhao, C. Zhang, L. Cao. — New York : Information Science Reference. — 2009. — 372 p. 11. *Koh Y. S.* Rare Association Rule Mining and Knowledge Discovery / Y. S. Koh, N. Rountree. — New York : Information Science Reference. — 2009. — 320 p. 12. *Dubois D.* A Systematic Approach to the Assessment of Fuzzy Association Rules / D. Dubois, E. Hullermeier, H. Prade // Data Mining and Knowledge Discovery. — 2006. — Vol. 13. — P. 167–192. 13. *Khan M. S.* Weighted Association Rule Mining from Binary and Fuzzy Data / M. S. Khan, M. Mueyba, F. Coenen // Lecture Notes in Computer Science. — 2008. — Vol. 5077. — P. 200–212. 14. *Зайко Т. А.* Определение индивидуальной значимости признаков для извлечения численных ассоциативных правил / Т. А. Зайко, А. А. Олейник, С. А. Субботин // Искусственный интеллект и его приложения : III-й Межвузовский научно-исследовательский семинар, Магнитогорск, 25 декабря 2012 г. : материалы семинара. — Магнитогорск : МаГУ, 2012. — С. 105–108. 15. *Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов* : монография / [С. А. Субботин, Ан. А. Олейник, Е. А. Гофман, С. А. Зайцев, Ал. А. Олейник]. — Харьков : ООО “Компания Смит”, 2012. — 317 с. 16. *Guyon I.* An Introduction to Variable and Feature Selection / I. Guyon, A. Elisseeff // Journal of Machine Learning Research. — 2003. — №3. — P. 1157–1182. 17. *Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах* : монография / [В. А. Филатов, Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко и др. ; под общ. ред. Е. В. Бодянского]. — Дніпропетровськ : Системні технології, 2008. — 403 с. 18. *Зайко Т. А.* Побудова нейро-нечітких моделей на основі неструктурованих даних / Т. А. Зайко, А. О. Олійник, С. О. Субботін // Штучний інтелект. — 2012. — № 4. — С. 546–556.

Поступила в редколлегию 04.02.2014

УДК 004.93

Синтез діагностичної моделі якості кондитерської продукції на основі асоціативних правил / Т. А. Зайко, А. О. Олійник, С. О. Субботін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 12–16.

Розглянуто задачу побудови діагностичної моделі якості кондитерської продукції. Для розв'язання даної задачі запропоновано використовувати асоціативні правила. Виявлено набір асоціативних правил, що дозволяє оцінювати якість виробів. Виконано відбір інформативних ознак і побудовано нейро-нечітку діагностичну модель якості кондитерської продукції.

Табл. 2. Іл. 1. Бібліогр.: 18 найм.

UDC 004.93

Synthesis of diagnostic model of confectionery products quality based on association rules / T. A. Zayko, A. O. Oliinyk, S. A. Subbotin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 12–16.

The problem of construction of the diagnostic model of quality confectionery products is considered. To solve this problem the usage of association rules is proposed. a set of association rules is extracted, which allows to evaluate the quality of products. Feature selection and synthesis of neuro-fuzzy diagnostic model of quality confectionery products are made.

Tab. 2. Fig. 1. Ref.: 18 items.

УДК 519.81

Е. В. Губаренко¹¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, gubarenko.evgen@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ ОЦЕНОК ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Обоснована необходимость целенаправленного исследования социальной составляющей социально-экономических систем. Описан процесс формирования обобщенных целей системы как обобщение индивидуальных целей элементов с рассмотрением возникающих ограничений. Предложены методы подбора задач для функционирующей рабочей группы и метод подбора группы для решения определенной задачи.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, РАБОЧАЯ ГРУППА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ, ЭФФЕКТИВНАЯ ЦЕЛЬ, РЕСУРСЫ, ОГРАНИЧЕНИЕ

Введение

Современное общество переживает перманентное кризисное состояние, которое охватывает все уровни и сферы деятельности. Стихийность и отсутствие контроля спровоцировало гипертрофированное развитие экономической системы, в то время как другие (особенно социальные и экологические системы) переживают глубокий упадок и деградацию. До определенного периода уровень наносимого урона окружающей среде был незначительным и мог быть решен за счет привлечения дополнительных средств (ресурсов). Следовательно, создалось впечатление, что обеспечив рост экономических показателей, превосходящий рост последствий возникающих проблем в других сферах, есть возможность компенсировать наносимый ущерб. Однако XX-й век ознаменовался научно-техническим прогрессом, что привело к значительному росту давления на окружающую среду, истощению ресурсов и катастрофическую деградацию социальных институтов. Как следствие, экономики (даже развитых стран) не справляются с наносимым ущербом.

Ситуация, связанная с перманентным кризисным состоянием современного общества, поставила на грань устойчивости большинство социально-экономических систем (СЭС). Под СЭС будем понимать систему, элементами которой являются социальная, экономическая и экологические подсистемы. СЭС обладает различными иерархическими уровнями, которые могут быть представлены различными организационными системами: предприятие, город, регион, государство, планета.

Таким образом, возникает необходимость решать задачи, связанные с проблемой повышения эффективности и устойчивости систем [1]. Данные свойства являются взаимозависимыми, так как самое эффективное решение лежит на границе устойчивости, в то время как самое устойчивое — на максимальном удалении от нее.

Вне зависимости от стратегии, которая будет выбрана, проблема формирования количественных оценок альтернативных решений стоит особенно остро. СЭС являются сложными смешанными

системами, которые включают пассивные и активные элементы трех метасистем с множеством явных и латентных связей и закономерностей. Это обуславливает задачу формирования комплексных решений, которые должны затрагивать не только часть, на которую направлено управляющее воздействие, но и на всю систему в целом. Для сравнения альтернативных схем реализации управления и выбора оптимального должны быть сформированы многофакторные оценки, которые смогли бы в должной мере отразить эффект принимаемого решения [2]. Социум, являясь основным системообразующим элементом СЭС, определяет цели и направления развития всей системы в целом и является единственным потребителем результатов функционирования системы. Следовательно, максимизация реализации потенциала социума (социальных групп) приведет к повышению эффективности функционирования всей системы.

Исследования роли трудовых ресурсов при организации эффективного функционирования экономики немало. Понятие человеческого капитала были описаны и изучены в работах: А. Смита, А. Маршалла, К. Маркса, Дж.М. Кейнса и др. А. Смит полагал человека источником и частью общественного богатства, А. Маршалл накопление богатства связывал с развитием человека, Дж.М. Кейнс считал развитие и реализацию способностей человека важнейшим условием экономического роста.

До 50-х годов XX века социальные ресурсы рассматривались как обычная рабочая сила, как некий статический ресурс. Анализ потенциала инвестирования в образовательный процесс, начатый А. Смитом, А. Маршаллом и М. Фридменом, не нашел достаточного понимания среди финансистов и экономистов, а, следовательно, был отодвинут на второй план в решении проблемы роста производительности рабочей силы. Основопологателями этого направления в экономике стали Т. Шульц и Г. Беккер — лауреаты Нобелевской премии. Большой вклад в разработку теории человеческого капитала внесли также Дж. Минсер, Л. Туроу, М. Фишер, М. Блауг и др. В последние годы

проблема развития социальных ресурсов все чаще выдвигается на первый план. Развитие человеческих ресурсов как объективную необходимость рассматривали в своих работах А.Н. Авдеева, В.С. Гойло, Е.Д. Катульский, В.П. Колесов, Т.А. Комиссарова, В.П. Корчагин, А.Э. Котляр и другие.

Оценивая роль социальных ресурсов в системе социально-экономических отношений, многие исследователи делают акцент на образовательный уровень, знания, квалификацию работника в эффективно развивающейся экономике общества. В их числе следует упомянуть работы А. Добрынина, С. Дятлова, А. Котляра, И. Майбурова, А. Мазина, В. Шадрикова, В. Щетинина и др.

В то же время до сих пор мало изучено влияние здоровья и физического развития человека в формировании, сохранении и эффективном использовании социальных ресурсов

Цель статьи предложить метод оценивания эффективности организации социальных подсистем в социально-экономических системах.

1. Формирование целей системы

Кризис в социальной сфере охватывает следующие аспекты: непосредственно связанные с экономикой (безработица, снижение уровня потребляемых благ, снижение уровня социальной защищенности), культурные особенности (социальное неравенство, этнические, религиозные, расовые конфликты, преступность), интеллектуальные (снижение уровня образования, потеря уважения к профессиям, связанным с реальным сектором производства) [3]. Кризис в экологической сфере формируется за счет двух особенностей: во-первых, современное общество поглощает ресурсы окружающей среды (проблема состоит в чрезмерном хаотическом потреблении, что приводит к исчерпанию невозобновляемых ресурсов, а возобновляемые значительно снижают свои характеристики); во-вторых, остатки деятельности возвращаются в окружающую среду. Влияние ноосферы [4] на окружающую среду стало настолько значимым, что нагрузка превышает допустимый уровень, в пределах которого она способна сохранять свою устойчивость.

Рассмотрим основной системообразующий элемент (индивидуум) во взаимосвязи его с различными подсистемами СЭС.

Основная роль любых социальных систем, таких как группа, общество, государство, заключается в формировании наиболее успешной структуры взаимоотношений и реализации наиболее эффективного пути достижения цели. И цель, и ресурсы, которые используются социальной системой, формируются исходя из свойств элементов, т.е. индивидуумов [5].

Личное информационное пространство (ЛИП) – это совокупность информационных потоков, которые воздействуют на индивида, или которые

индивид порождает в результате мыслительной или трудовой деятельности. Воздействуя на ЛИП различными способами (например, идеологией, образованием, воспитанием), можно контролировать процесс формирования целей, путей достижения, удовлетворение от получаемого результата [6].

На рис. 1 показана взаимосвязь ЛИП и факторов различной природы, влияющих на его формирование. Воздействие экологических факторов или факторов окружающей среды не столь очевидно, как социальных или информационных, но их воздействие неоспоримо, так как в большинстве случаев окружающая среда формирует дополнительные ограничения и физиологические потребности, которые являются реакцией на раздражители, такие как голод, жажда, холод и прочее. Экология воздействует на состояние здоровья человека, по сути, показатель здоровья и есть основным индикатором взаимодействия окружающей среды и индивидуума [7].

Именно индивидуум, являясь частью системы, определяет цели и пути ее достижения. Рассмотрим процесс функционирования СЭС, который включает формирование цели, определение пути достижения (траекторию), получение и распределение результата.



Рис. 1. Факторы, влияющие на личное информационное пространство

Процесс формирования цели в СЭС может быть представлен следующим образом (рис. 2) [8]. Индивидуумы, которые являются системообразующими элементами системы, формируют личные цели. Затем формируется эффективная цель, на реализацию которой СЭС расходует ресурсы, получая при этом некий результат (благо); далее результат распределяется между индивидуумами и формируется индивидуальная удовлетворенность (Y_L).

Личные цели (C_L) могут формироваться абсолютно независимо от СЭС, частью которой является индивидуум, могут согласовываться с уже существующей эффективной целью СЭС или же полностью дублировать эффективную цель [9].

Эффективная цель (C_E) формируется на основании индивидуальных целей, но не является их точным отображением. Личная цель (C_L) представляет собой кортеж (1), каждое значение которого отображает некое фиксированное положение индивида:

$$C_L(x) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

где n – количество фиксированных потребностей индивидуума

$$x_i = (V, S, \Delta S(t), Z, \Delta Z(m), P), i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где V – важность состояния для индивидуума; S – величина удовлетворенности от достижения данного состояния; $\Delta S(t)$ – функция изменения S при повторном достижении этого состояния, чаще всего зависит от времени или от количества достигнутых состояний; Z – затраты на достижение данного состояния; $\Delta Z(m)$ – функция, отображающая динамику изменения затрат при повторном достижении этого состояния, чаще всего зависит от количества достигнутых состояний; P – повторяемость (или обратный ему показатель – уникальность), показывает, насколько однородными являются индивидуальные цели.

Эффективная цель (C_E) формируется как функция от совокупности индивидуальных целей:

$$C_E = f\left(\bigcup_{i=1}^n C_{L_i}\right), \quad (3)$$

где n – количество индивидуумов; f – функция, устанавливающая зависимость между эффективной целью и совокупностью индивидуальных; C_E – эффективная цель СЭС; C_{L_i} – индивидуальная цель i -го элемента СЭС.

Социум как система представляет собой совокупность социальных групп, институтов, стереотипов и прочих культурных особенностей. Создавать и поддерживать СЭС ради достижения целей одного или ограниченной группы индивидуумов не является рациональным, если за основу брать задачу максимизации совокупного уровня потребления благ каждым индивидуумом.

Критерием эффективности принимаемых решений является выполнение двух условий: во-первых, обеспечение поступательного роста производства общественных благ (ОБ) в каждый наблюдаемый момент времени, во-вторых, обеспечение поступательного пропорционального роста личного потребления (ЛП) каждого индивидуума:

$$\begin{cases} \text{ОБ}_i > \text{ОБ}_{i-1}, & (4) \\ \text{ЛП}_i > \text{ЛП}_{i-1}, & (5) \end{cases}$$

где i – номер дискретного интервала планирования.

Личное потребление (5) является обобщенным показателем доли общественных благ, приходящейся на каждого индивидуума. Данный показатель отражает структуру распределения ресурсов в обществе, степень удовлетворенности и потенциальную возможность достижения личных целей [10].

Рост производства общественных благ (4) является средством достижения следующих целей: роста личного потребления, обеспечения развития и устойчивости СЭС. Общественные блага – это совокупность социальных, экологических и экономических объектов. Общественным благом в равной степени являются и уровень заработных плат, и чистота атмосферного воздуха.

Вышесказанное может быть обобщено в виде следующих пунктов:

- цели СЭС формируют индивидуумы;
- основным системообразующим элементов СЭС является индивидуум;
- основой функционирования СЭС (производство, поддержка, обслуживание, управление) является индивидуум;
- потребителем результатов функционирования СЭС является индивидуум.

СЭС создается «людьми для людей». Поэтому очень важно, чтобы при производстве благ не были ущемлены права, требования и предпочтения индивидуумов, которые заняты в производстве, по отношению к тем, которые потребляют результат. В противном случае, такая модель превращается в рабовладельческое общество со всеми социальными и моральными деформациями.

2. Трудовые ресурсы

Рассмотрим проблему, связанную с трудовыми ресурсами, более подробно [11] (рис. 2).

1. Проблема формирования общей цели – каждый активный элемент формирует собственные индивидуальные цели, которые необходимо обобщать и учитывать во избежание роста неудовлетворенности и потери устойчивости СЭС в целом.

2. Проблема организации социальных систем в процессе функционирования СЭС – когда общая цель была сформулирована, возникает ситуация, когда динамикой изменения индивидуальных целей пренебрегают, индивидуумы воспринимаются как пассивные элементы, тем самым подавляется свобода воли.

3. Проблема получения и распределения результатов функционирования СЭС – результат достаточно часто представляет собой промежуточную стадию получения благ, т. е. индивидуум получает некий ресурс (деньги), который он впоследствии должен будет обменять на требуемые блага.

Потенциал активных элементов чрезвычайно трудно оценить, измерять, реализовать, поддерживать. Индивидуум обладает следующими группами характеристик: интеллектуальными, профессиональными, психологическими, эмоциональными, социальными, физиологическими. Каждая группа содержит собственную систему показателей, которые в совокупности формируют уникальные характеристики. Помимо индивидуальных характеристик, отдельно следует выделить способность к взаимодействию в группе и между группами. В обществе процесс обмена информацией является

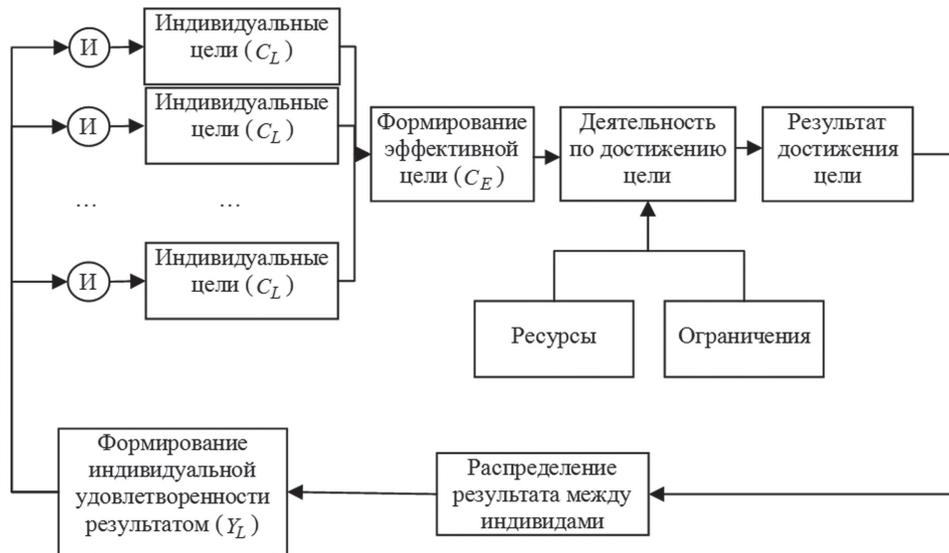


Рис. 2. Схематическое представление процесса формирования и достижения целей СЭС

основным для успешного функционирования любой СЭС.

Сокращение времени, выделяемого на реализацию проектов (достижения цели), при одновременном снижении уровня подготовки кадров, привело к тому, что подход, ранее принципиально культивируемый рыночной идеологией, о том, что специалист является лишь средством производства и может быть заменен в случае необходимости (некоторыми менеджерами даже реализовывался принцип, запланированного обновления кадров, для более «эффективной» работы), потерпел крах. Время, которое тратит предприятие на обучение и подготовку новых кадров, а также разрешение конфликтов, совершенствование и накопление опыта, наносит непоправимый ущерб, снижая общую эффективность и конкурентоспособность предприятия. Обучение – это процесс, не дающий гарантированного результата, следовательно, инвестирование работодателями в систему образования не является привлекательным. Краткосрочное планирование, которое позиционировалось как основная движущая сила рыночных взаимоотношений, привело к тому, что на рынке труда катастрофически не хватает квалифицированных кадров. Учебные заведения, которые готовят высококвалифицированных специалистов, и по сей день ошибочно считаются дотационными.

Предприятиям, столкнувшимся с нехваткой высококвалифицированных кадров, необходимо решать следующие задачи:

1. Подготовка новых кадров в рамках задач, которые им необходимо решать.
2. Обеспечение возможности накопления опыта по решению типовых задач.
3. Обеспечение возможности совершенствования умений и навыков.
4. Удержание сотрудников на постоянном месте работы.

5. Создание комфортных условий работы.
6. Обеспечение коммуникации или иного вида обмена информацией между сотрудниками.

Также существует множество других проблем, которые ранее решались системой образования и подготовкой кадров, а теперь лежат на плечах работодателя.

Рассмотрим задачу обеспечения коммуникации [12] на примере создания благоприятных условий взаимодействия членов рабочей группы. Следует выделять два вида задач.

1. **Первый вид задач** может быть охарактеризован следующим образом – существует рабочая группа, которая обладает опытом, слаженностью, устоявшимися правилами, интеллектуальными и профессиональными качествами. Необходимо оценить их возможности и подобрать такой вид задач, при решении которых они реализуют свой потенциал в полном объеме. Недостатком такого подхода является возможное несовпадение задач для группы и задач, решаемых работодателем. Реализовать потенциал – не значит обеспечить максимизацию прибыли для предприятия. Достоинство – коллектив является уже слаженной рабочей группой с достаточно устоявшимися

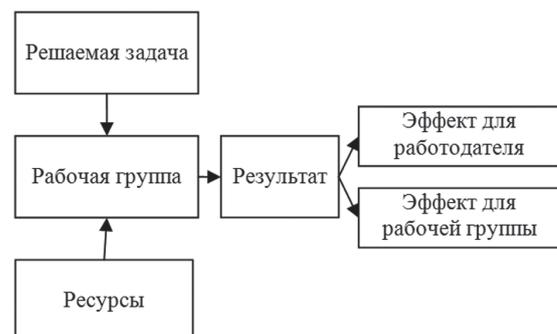


Рис. 3. Условное представление схемы организации процесса подбора задач для рабочей группы

схемами взаимодействия, что сократит время на формирование новых связей, борьбу за лидерство, облегчит процесс формирования количественных оценок и прочее.

Метод подбора задач для рабочей группы может быть представлен в виде следующего алгоритма.

1. Формирование количественных оценок рабочей группы – они формируются как функция от совокупного объема характеристик каждого элемента группы. Среди параметров следует выделять: интеллектуальные $O_I = f_1\left(\bigcup_{i=1}^n I_i\right)$, где I_i – интеллектуальная оценка каждого члена группы, n – количество членов группы; профессиональные $O_P = f_2\left(\bigcup_{i=1}^n P_i\right)$, где P_i – профессиональная оценка каждого члена группы; психологические $O_{Pc} = f_3\left(\bigcup_{i=1}^n Pc_i\right)$, где Pc_i – психологическая оценка каждого члена группы; эмоциональные $O_E = f_4\left(\bigcup_{i=1}^n E_i\right)$, где E_i – эмоциональная оценка каждого члена группы; социальные $O_S = f_5\left(\bigcup_{i=1}^n S_i\right)$, где S_i – социальная оценка каждого члена группы; физиологические $O_F = f_6\left(\bigcup_{i=1}^n F_i\right)$, где F_i – физиологическая оценка каждого члена группы. Важно отметить, что функции (f_1, \dots, f_6) носят трансцендентный характер и нуждаются в идентификации. Количественная оценка рабочей группы формируется как функция от всех выделенных параметров:

$$O_{wg} = f(O_I, O_P, O_{Pc}, O_E, O_S, O_F), \quad (6)$$

где O_{wg} – количественная оценка рабочей группы; f – функция, которая обобщает все выделенные параметры, формируя количественную оценку.

2. Выделение множества задач, которые удовлетворяют локальным ограничениям рабочей группы. Эти ограничения формируются на основе индивидуальных или совокупных значений характеристик. Результатом является множество альтернатив.

3. Формирование количественных оценок альтернатив (O_{A_i}) по аналогии с оценкой рабочей группы (6) и расчет ожидаемого экономического эффекта (Ef_i).

4. Выбор оптимальной задачи. Данный процесс является решением многокритериальной задачи, так как решение должно опираться как минимум на два критерия: минимизация суммарных отклонений оценок для максимизации реализации потенциала рабочей группы $\sum_{i=1}^n |O_{wg} - O_{A_i}| \rightarrow \min$, где n – количество альтернативных задач, и максимизация экономического эффекта $Ef_i \rightarrow \max$.

2. **Второй вид задач** связан с существованием задачи, которую необходимо решить. Рабочая группа подбирается исходя из формальных признаков на время, необходимое для ее решения. Недостатки – потери времени на установление взаимоотношений, отсутствие опыта работы в команде. Достоинство – задача, которую рассматривают, является наилучшей с точки зрения работодателя, следовательно, ее решение даст максимальный эффект.

Метод подбора рабочей группы для решения задачи может быть представлен в виде следующего алгоритма.

1. Выбор задачи или группы задач, обладающих максимальным или достаточным экономическим эффектом Ef .

2. Определение количественных оценок выделенных задач (O_{A_i}).

3. Формирование требований к ресурсной базе и рабочей группе.

4. Наложение ограничений на множество задач на основе доступности ресурсов и возможности обеспечить требования доступными рабочими группами.

5. Формирование рабочей группы таким образом, чтобы оценка рабочей группы O_{wg} была максимально приближена к оценке выбранной задачи. При формировании рабочей группы основным критерием является время, которое расходуется на ознакомление с задачей t_z , выстраивание отношений и связей в группе t_c , устранение конфликтов t_k , налаживание взаимодействий с другими группами t_{kom} . Следовательно, целевая функция будет иметь вид: $f(t_z, t_c, t_k, t_{kom}) \rightarrow \min$.

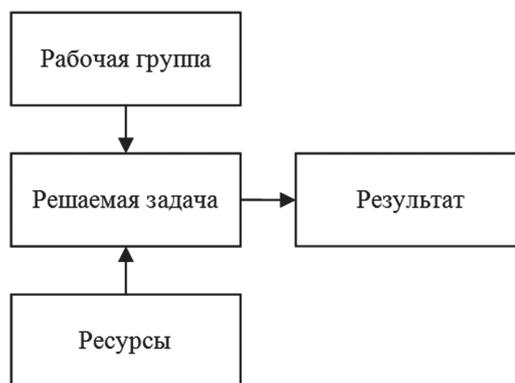


Рис. 4. Условное представление схемы организации процесса подбора рабочей группы для решения задачи

Одним из возможных путей сокращения времени является подбор группы, которая совместима по психотипу с менеджером проекта или руководителем. Другими словами, для решения задачи выбирается руководитель, а группа формируется исходя из психологической совместимости. Это должно сократить время на формирование связей и взаимоотношений в группе, сократить количество и продолжительность конфликтов, что повысит управляемость группы и даст возможность сократить расход ресурсов.

Сложность социальных систем, а также множество моральных и этических вопросов, которые порождает возможность индивидуума к проявлению свободы воли, необоснованно отодвинуло изучение социальных систем на второй план. Вопросы и проблемы, которые возникают в социальных системах, игнорируются, но на текущий момент, когда кризисное состояние цивилизации вынудило рассматривать общество как совокупность социальных, экономических и экологических метасистем, показало, что только гармоничное развитие всех трех систем предоставит возможность выхода из сложившейся ситуации.

Как было показано, социум, а именно индивидуум, является активным элементом СЭС, именно он формирует цели, обеспечивает управление, является основным производственным ресурсом и потребителем. Поэтому при организации и поддержке СЭС важен не только результат, но каждый этап: формирование цели, выбор стратегии (траектории), получение результата. На каждом из этапов формируется чувство удовлетворенности активного элемента: пренебрежение может спровоцировать нежелание индивидуума находиться в такой системе вне зависимости от привлекательности эффективной цели (цель всей системы). Потеря элементов системой изменяет ее структуру, меняет характер реакции на внешнее и управляющее воздействие, снижает устойчивость и эффективность. Также снижается уровень удовлетворенности оставшихся элементов.

Выводы

В статье описана социально-экономическая система (СЭС), ее структура и характер организации. Приведена схема взаимодействия с индивидуумом через личное информационное пространство (ЛИП), посредством воздействия различных факторов.

Описан процесс формирования эффективной цели СЭС на основе индивидуальных целей каждого индивида, который является частью системы.

Выделены проблемы, связанные с организацией социальных систем в СЭС, и перечислены задачи, которые необходимо решать для обеспечения эффективного управления. Детально рассматривалась задача обеспечения коммуникации на примере создания благоприятных условий взаимодействия членов рабочей группы. Было выделено два вида задач, ориентированных на формирование эффективной группы и на достижение поставленной цели. Детальное изучение предметной области дало возможность предложить два метода решения задач. Предложенные методы предполагают принятие решений, которые одновременно опираются на экономическую эффективность (выгоду для работодателя), максимизацию раскрытия потенциала (выгоду для общества) и формирование благоприятной рабочей обстановки (выгода для индивидуумов).

Было предложено использование принципа подбора рабочей группы по совместимости психотипов всей группы с руководителем проекта, что даст возможность сократить время, затрачиваемое на весь проект в целом.

Список литературы: 1. Губаренко, Е.В. Модели и методы управления устойчивым развитием социально-экономических систем / Е.В. Губаренко, А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров; под общ. ред. Э.Г. Петрова. — Херсон: Гринь Д.С., 2013. — 252 с. 2. Глушков, В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков. — Изд. 2-е, исправленное и дополненное. — К.: Техніка, 1974. — 320 с. 3. Капица, С.П. Феноменологическая теория роста населения Земли / С.П. Капица // Успехи физических наук. — 1996. — Т. 166, № 1. — С. 63-80. 4. Вернадский, В.И. Философские мысли натуралиста / В.И. Вернадский. — М.: Наука, 1988. — 520 с. 5. Тавокин, Е.П. Исследование социально-экономических и политических процессов: учеб. пособие / Е.П. Тавокин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 216 с. 6. Губаренко, Е.В. Эволюция концепции экономического роста / Е.В. Губаренко // Вестник Херсонского национального технического университета — 2013. — № 1(46). — С. 56-59. 7. Стожаров, А.Н. Медицинская экология: учеб. пособие / А. Н. Стожаров. — Минск: В. шк., 2007. — 368 с. 8. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери: пер. с англ. под ред. И.А. Ушакова. — М.: Сов. Радио, 1974. — 272 с. 9. Петров, Э.Г. Цели и устойчивость социально-экономических систем при реализации концепции устойчивого развития / Э.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Бионика интеллекта. — 2012. — № 1(78). — С. 17-22. 10. Петров, Э.Г. Роль, задачи и методы государственного управления при реализации концепции устойчивого развития / Э.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Бионика интеллекта. — 2011. — № 3(77). — С. 60-64. 11. Экономика труда: учебник. 2-е изд., перераб. И доп. / под ред. проф. Ю.П. Коккина, проф. П.Э. Шлендера. — М.: Магистр, 2010. — 686 с. 12. Смелзер, Н. Социология / Н. Смелзер: пер. с англ. — М.: Феникс, 1994. — 688 с.

Поступила в редколлегию 27.02.2014

УДК 519.81

Формування оцінок ефективності організації соціальних ресурсів у соціально-економічних системах / Е.В. Губаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 17-22.

Проаналізовано процес формування цілей соціально-економічних систем. Виділено особливості та визначено основні типи розв'язуваних завдань. Показано проблеми організації трудових ресурсів. Дана класифікація проблем, з якими зіштовхуються сучасні СЕС при організації ефективної роботи. Виділені два класи задач: підбір розв'язуваної задачі для сформованої робочої групи та підбір групи для вирішення певної задачі. Запропоновані методи рішення.

Л. 4. Бібліогр.: 12 найм.

UDK 519.81

Formation of estimations of efficiency of organization of social resources of socio-economic systems / Ie.V. Gubarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 17-22.

Analyzes the formation purposes of social and economic systems. Highlighted features and identifies the main types of tasks. Pre-made problems of organization of labor resources. Classification of problems faced by modern SES at the organization of effective work. Two categories of tasks: selection of the problem, for the established working group and the selection group for solving a particular problem. Proposals of solution methods.

Fig. 4. Ref.: 12 items.

УДК519.6



О. О. Литвин

Українська інженерно-педагогічна академія,
м. Харків, Україна, loo71@bk.ru

ПОЛІНОМІАЛЬНА ЕРМІТОВА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ФУНКЦІЙ 2-Х ЗМІННИХ У ВУЗЛАХ ПЕРЕТИНУ СИСТЕМИ ПРЯМИХ

Досліджуються апроксимативні властивості інтерполяції функцій 2-х змінних та їх часткових похідних першого порядку в точках перетину системи M непаралельних прямих, ніякі три з яких не перетинаються в одній точці.

ПОЛІНОМІАЛЬНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, БАЗИСНІ ПОЛІНОМИ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Вступ

Алгебраїчні поліноми є одним з найбільш простих інструментів наближення функцій кількох змінних. Але загальна теорія їх побудови для довільної сітки вузлів інтерполяції на даний час ще не завершена.

Теорема Вейерштрасса стверджує, що для кожної неперервної функції $f(x, y)$ існує поліном $P_n(x, y)$ такого степеня $n = n(\epsilon)$, що для максимального відхилення полінома від функції буде виконуватись нерівність $|f(x, y) - P_n(x, y)| \leq \epsilon$, $\forall (x, y) \in D \subset R^2$ для кожного $\epsilon > 0$. Але практична побудова таких поліномів за допомогою операторів інтерполяції наштовхується на ряд обмежень (вузли інтерполяції не повинні задаватися на рівномірній сітці вузлів, хоча експериментальні дані інколи зручно отримувати на регулярній сітці вузлів, коли крок між сусідніми вузлами є сталим тощо). В той же час ермітові інтерполяційні поліноми з кратними вузлами, якщо в них похідні у вузлах замінити нулями, можуть наближувати кожну неперервну функцію. Тому актуальною є задача побудови і дослідження операторів, які інтерполюють функцію разом із її частковими похідними першого порядку та мішаними похідними в точках, що є перетином заданого сімейства прямих.

1. Аналіз літературних джерел

У монографії Лоттара Колатца [1] наведено приклад дев'яти вузлів інтерполяції, що лежать на системі шести перетинних прямих, непаралельних осям координат, для яких побудова інтерполяційного полінома третього степеня не має єдиного розв'язку, оскільки поліном третього степеня має десять коефіцієнтів, а інтерполяційних умов лише дев'ять. В роботі [2] отримана формула поліноміальної інтерполяції функцій на довільній сітці вузлів поліномами мінімального степеня, яка інтерполює лише значення функцій і не інтерполює часткові похідні. В даній роботі вказана формула узагальнюється на випадок інтерполяції функцій двох змінних та її часткових похідних першого порядку мішаної похідної на сітці вузлів, які є точками перетину M непаралельних прямих, при умові, що

ніякі три з цих прямих не перетинаються в одній точці. Стан теорії поліноміальної інтерполяції функцій багатьох змінних на системі нерегулярно розміщених вузлів проаналізовано в [3-5] (див. також бібліографію у цих роботах). Відмітимо, що загальні твердження щодо існування поліномів заданого степеня, які інтерполюють функцію та її похідні до заданого порядку на деякій системі точок трикутника, отримані в працях М. Зламала, А. Женішека, Р. Варги, І. Бабушки [6-12], явні формули їх побудови отримані в працях Ю.Н. Суботіна [13-14], О.М. Литвина, О.О. Литвина, О.І. Денисової [15]. В праці А.П. Слесаренко [16] запропонована формула кратної поліноміальної інтерполяції функцій 2-х змінних не у вигляді полінома мінімального степеня, а у формі раціонального дробу, яку в 1968 році використав D. Shepard [17] і яка використовувалася також в праці О.М. Литвина [18] при побудові глобальної інтерполяційної формули на довільній сітці вузлів [див. також [2]].

2. Постановка задачі

Нехай $\Gamma_k : \omega_k(x, y) = a_k x + b_k y - \gamma_k = 0, k = \overline{1, M}$ – довільна система прямих, що задовольняють умови:

а) $\Gamma_i \cap \Gamma_j = A_{ij}(x_{ij}, y_{ij}) \neq \emptyset, i, j = \overline{1, M}, i \neq j$ – тобто кожна пряма цієї системи перетинається з усіма іншими;

б) $\Gamma_i \cap \Gamma_j \cap \Gamma_k = \emptyset, i, j, k \in \{1, 2, \dots, M\}, i \neq j \neq k$ – тобто ніякі три прямі даної множини не перетинаються в одній точці.

Задача полягає в побудові полінома $P_n(x, y) = \sum_{0 \leq \alpha + \beta \leq n} c_{\alpha, \beta} x^\alpha y^\beta, n \leq 2M - 2$ з властивостями

$$P_n(X_{ij}, Y_{ij}) = \gamma_{ij, 0, 0}, D^{1,0} P_n(X_{ij}, Y_{ij}) = \gamma_{ij, 1, 0},$$

$$D^{0,1} P_n(X_{ij}, Y_{ij}) = \gamma_{ij, 0, 1}, D^{1,1} P_n(X_{ij}, Y_{ij}) = \gamma_{ij, 1, 1};$$

$$i, j \in \{1, \dots, M\}, i \neq j,$$

де $\gamma_{ij, p, q} \in R; i, j = \{1, \dots, M\}, i \neq j; 0 \leq p, q \leq 1$ – задані дійсні числа.

3. Основні твердження роботи

Вважаємо заданими систему прямих $\Gamma_i, i = \overline{1, M}$ і точок $A_{ij}(X_{ij}, Y_{ij}) = \Gamma_i \cap \Gamma_j, i, j = 1, \dots, M$ та значення $D^\alpha f(X_{ij}, Y_{ij}), 0 \leq \alpha_k \leq 1, k = 1, 2$

$$D^\alpha f(X_{ij}, Y_{ij}) = \frac{\partial^{|\alpha|} f(x, y)}{\partial x^{\alpha_1} \partial y^{\alpha_2}} \Big|_{(x, y) = (X_{ij}, Y_{ij})},$$

$$|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2; 0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1; D^{0,0} f(X_{ij}, Y_{ij}) = f(X_{ij}, Y_{ij}).$$

Наведемо явні формули для базисних поліномів мінімального степеня поліноміальної інтерполяції ермітового типу, які дозволяють розв'язати поставлену задачу.

Будемо позначати нерівності $0 \leq \gamma \leq 1 - \beta$ так: $0 \leq \gamma_1 \leq 1 - \beta_1; 0 \leq \gamma_2 \leq 1 - \beta_2$ при умові, що

$$\gamma = (\gamma_1, \gamma_2) \quad \beta = (\beta_1, \beta_2), \quad 0 \leq \beta_1, \beta_2 \leq 1.$$

Нехай

$$h_{\gamma\beta}(x, y) = \frac{(x - X_{ij})^{\beta_1} (y - Y_{ij})^{\beta_2}}{\beta_1! \beta_2!} \cdot \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(x, y) \times \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right\}_{A_{ij}}^{1-\beta}, \quad \text{де}$$

$$\left\{ \frac{1}{u(x, y)} \right\}_{A_{ij}}^{1-\beta} = \sum_{0 \leq \gamma \leq 1 - \beta} \left(D^\gamma \frac{1}{u(x, y)} \right)_{A_{ij}} \frac{(x - X_{ij})^{\gamma_1} (y - Y_{ij})^{\gamma_2}}{\gamma!},$$

$$\gamma! = \gamma_1! \gamma_2!$$

Теорема 1. Функції $h_{\gamma, \beta}(x, y)$ є базисними інтерполяційними поліномами степеня $2M$ з властивостями

$$D^\gamma h_{\gamma, \beta}(X_{pq}, Y_{pq}) = \delta_{\gamma, \beta} \delta_{(i, j), (p, q)}, \quad 0 \leq \gamma \leq 1; \quad (1)$$

$$i, j, p, q \in \{1, \dots, M\}, \quad \delta_{\gamma, \beta} = \delta_{\gamma_1, \beta_1} \delta_{\gamma_2, \beta_2}, \quad |\beta| = \beta_1 + \beta_2,$$

$$\delta_{(i, j), (p, q)} = \delta_{i, p} \delta_{j, q}, \quad \gamma = (\gamma_1, \gamma_2), \quad |\gamma| = \gamma_1 + \gamma_2, \quad 0 \leq \gamma \leq 1.$$

Доведення. Враховуючи, що $w_p(x, y)$ є лінійними функціями 2-х змінних, степінь $h_{\gamma, \beta}(x, y)$ буде дорівнювати

$$\beta_1 + \beta_2 + 2(M - 2) + 1 - \beta_1 + 1 - \beta_2 = 2M - 2,$$

що і стверджує теорема 1. З означення множника у фігурних дужках, він є поліномом Тейлора 1-го степеня за кожною змінною при $\beta_1 = \beta_2 = 0$, тобто

$$\begin{aligned} h_{\gamma, 0, 0}(x, y) &= \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(x, y) \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) - \right. \\ &- 2(x - X_{ij}) \cdot \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right]_{A_{ij}} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-3}(X_{ij}, Y_{ij}) - \\ &- 2(y - Y_{ij}) \cdot \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right]_{A_{ij}} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-3}(X_{ij}, Y_{ij}) - \\ &- 2(x - X_{ij})(y - Y_{ij}) \times \\ &\times \left[-3 \left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right) \left(D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left. + \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right]_{A_{ij}} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-4}(X_{ij}, Y_{ij}) \Big\}.$$

З формули (2) при $(x, y) = (X_{ij}, Y_{ij})$ отримуємо

$$h_{\gamma, 0, 0}(X_{ij}, Y_{ij}) = \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(X_{ij}, Y_{ij}) \cdot w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) = 1$$

та $h_{\gamma, 0, 0}(X_{\mu\nu}, Y_{\mu\nu}) = 0, (i, j) \neq (\mu, \nu)$.

Тобто властивості (1) доведені для $\beta_1 = 0, \beta_2 = 0$ при $\gamma_1 = 0, \gamma_2 = 0$. Аналогічно доводиться, що

$$D^\gamma h_{\gamma, 0, 0}(X_{\mu\nu}, Y_{\mu\nu}) = 0, (i, j) \neq (\mu, \nu),$$

$$0 \leq \gamma_1 \leq 1, 0 \leq \gamma_2 \leq 1, |\gamma| > 0.$$

Доведення того, що $D^{1,0} h_{\mu\nu, 0, 0}(X_{ij}, Y_{ij}) = 0$ та $D^{0,1} h_{\mu\nu, 0, 0}(X_{ij}, Y_{ij}) = 0, (\mu, \nu) \neq (i, j)$ є очевидними, оскільки

$$\left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq \mu, \nu}}^M w_p^2(x, y) \right)_{(X_{ij}, Y_{ij})} = 0, \quad \left(D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq \mu, \nu}}^M w_p^2(x, y) \right)_{(X_{ij}, Y_{ij})} = 0.$$

З рівності

$$\begin{aligned} D^{1,0} h_{\gamma, 0, 0}(x, y) &= \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(x, y) \right]_{A_{ij}} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} + \\ &+ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(x, y) \cdot \left(D^{1,0} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} \right)_{A_{ij}}. \end{aligned}$$

враховуючи, що

$$\begin{aligned} \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right)_{A_{ij}}^{(1,1)} &= \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) + \\ &+ \left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right)_{A_{ij}} (x - X_{ij}) + \\ &+ \left(D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right)_{A_{ij}} (y - Y_{ij}) + \left(D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right)_{A_{ij}} \times \\ &\times (x - X_{ij})(y - Y_{ij}) \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^2(x, y) \right]_{A_{ij}} = \\ &= 2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(X_{ij}, Y_{ij}) \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right]_{A_{ij}}, \\ &- 2 \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p(x, y) \right]_{A_{ij}} = \\ &= \frac{\left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^{-2}(x, y) \right]_{A_{ij}}}{\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i, j}}^M w_p^3(X_{ij}, Y_{ij})}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right]_{A_{ij}} &= 2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(X_{ij}, Y_{ij}) \times \\ &\times \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}}, \\ \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right]_{A_{ij}} &= \frac{-2 \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}}}{\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^3(X_{ij}, Y_{ij})}, \\ \left(D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} &= 2 \left\{ D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,0} \times \right. \\ &\times \left. \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) + \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \\ \left(D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right)_{A_{ij}} &= -2 \left\{ -3 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-4}(x,y) D^{0,1} \times \right. \\ &\times \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) + \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) D^{1,1} \times \\ &\times \left. \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \end{aligned}$$

МОЖЕМО НАПИСАТИ

$$\begin{aligned} D^{1,0} h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) &= \left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \times \\ &\times \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right)_{A_{ij}} + \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \times \\ &\times (-2) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) \right)_{A_{ij}} = 0. \end{aligned}$$

Аналогічно доводиться, що $D^{0,1} h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) = 0$.

Для доведення того, що $D^{1,1} h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) = 0$, скористаємося формулою $D^{1,1}(uv) = (D^{1,1}u)v + (D^{1,0}u)(D^{0,1}v) + (D^{0,1}u)(D^{1,0}v) + u(D^{1,1}v)$.

$$\begin{aligned} D^{1,1} h_{ij,0,0}(x,y) &= \left(D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \cdot \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} + \\ &+ \left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \cdot \left\{ D^{0,1} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} \right)_{A_{ij}} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \left(D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \cdot \left\{ D^{1,0} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} \right)_{A_{ij}} + \\ &+ \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \cdot \left\{ D^{1,1} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} \right)_{A_{ij}}. \end{aligned}$$

Звідси отримуємо

$$\begin{aligned} D^{1,1} h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) &= \\ &= 2 \left\{ D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) + \right. \\ &+ \left. \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) + \\ &+ \left(2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(X_{ij}, Y_{ij}) \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} \right) \times \\ &\times \left(-2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) \right\}_{A_{ij}} \left\{ D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \right) + \\ &+ \left(\left(2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(X_{ij}, Y_{ij}) \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} \right) \right) \times \\ &\times \left(-2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) \right\}_{A_{ij}} \left\{ D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \right) + \\ &+ \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(X_{ij}, Y_{ij}) \right) \cdot (-2) \left\{ -3 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-4}(x,y) D^{0,1} \times \right. \\ &\times \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) + \\ &+ \left. \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} \\ D^{1,1} h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) &= 2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \times \right. \right. \\ &\times \left. \left. D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} + \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-1}(X_{ij}, Y_{ij}) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} + \\ &- 4 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}} \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} \times \\ &\times \left\{ D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} - 4 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left[D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} \cdot \left\{ D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} + \\
& + 6 \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) \right) \times \\
& \times \left[D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right]_{A_{ij}} - \\
& - 2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-1}(x,y) D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right\}_{A_{ij}} = 0.
\end{aligned}$$

Таким чином, доведено, що $D^{1,1}h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) = 0$.
При цьому використані наступні рівності.

$$\begin{aligned}
D^{1,1}h_{ij,0,0}(X_{ij}, Y_{ij}) &= \left(D^{1,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \times \\
& \times \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(X_{ij}, Y_{ij}) + \left(D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \times \\
& \times \left(-2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right)_{A_{ij}} + \\
& + \left(D^{0,1} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \times \\
& \times \left(-2 \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-3}(x,y) D^{1,0} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p(x,y) \right)_{A_{ij}} + \\
& + \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^2(x,y) \right)_{A_{ij}} \cdot \left(D^{1,1} \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i,j}}^M w_p^{-2}(x,y) \right\}_{A_{ij}} \right)^{1-\beta}.
\end{aligned}$$

Аналогічно доводяться відповідні властивості функцій $h_{ij,1,0}(x,y), h_{ij,0,1}(x,y), h_{ij,1,1}(x,y)$.

Теорема 1 доведена.

Тобто система $h_{ij,\beta}(x,y), 1 \leq i, j \leq M, 0 \leq \beta_1, \beta_2 \leq 1$ є системою базисних функцій при побудові операторів поліноміальної ермітової інтерполяції даних значень функції та її часткових похідних першого порядку і мішаної похідної у вказаних точках інтерполяції. Відповідний оператор інтерполяції можна представити у вигляді

$$\begin{aligned}
L_n f(x,y) &= \sum_{(i,j) \in G} h_{ij,0,0}(x,y) f(X_{ij}, Y_{ij}) + \\
& + \sum_{(i,j) \in G} h_{ij,1,0}(x,y) f^{(1,0)}(X_{ij}, Y_{ij}) + \\
& + \sum_{(i,j) \in G} h_{ij,0,1}(x,y) f^{(0,1)}(X_{ij}, Y_{ij}) + \\
& + \sum_{(i,j) \in G} h_{ij,1,1}(x,y) f^{(1,1)}(X_{ij}, Y_{ij}),
\end{aligned}$$

де

$$G = \{(i,j) : (X_{ij}, Y_{ij}) = (X_{ji}, Y_{ji}) = \Gamma_i \cap \Gamma_j; i, j = \overline{1, M}, i \neq j\}.$$

Теорема 2. Оператор $L_n f(x,y)$ є оператором поліноміальної інтерполяції ермітового типу на $\frac{(M-1)M}{2}$ точках A_{ij} , що є точками перетину прямих $\Gamma_k, k = \overline{1, M}$:

$$D^\alpha L_n f(X_{\mu\nu}, Y_{\mu\nu}) = D^\alpha f(X_{\mu\nu}, Y_{\mu\nu}) = f_{\mu\nu}^\alpha, \quad (4)$$

$$(\mu, \nu) \in G; 0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1.$$

Доведення. Застосуємо до $L_n f(x,y)$ оператор D^α . В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}
D^\alpha L_n f(x,y) \Big|_{(X_{\mu\nu}, Y_{\mu\nu})} &= \sum_{(i,j) \in G} \sum_{0 \leq \beta \leq 1} f_{ij}^\beta \cdot D^\alpha h_{ij,\beta}(x,y) \Big|_{A_{\mu\nu}} = \\
&= \sum_{(i,j) \in G} \sum_{0 \leq \beta \leq 1} f_{ij}^\beta \cdot \delta_{(i,j),(\mu,\nu)} \delta_{\alpha,\beta} = f_{\mu\nu}^\alpha, (\mu, \nu) \in G, \\
&0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1.
\end{aligned}$$

Теорема 2 доведена.

Теорема 3. Оператори $L_n f(x,y)$ є точними на поліномах степеня $2M-2$, які є функціями $h_{ij,\beta}(x,y), (i,j) \in G, 0 \leq |\beta| \leq 1$:

$$L_n h_{\mu\nu,\gamma}(x,y) = h_{\mu\nu,\gamma}(x,y). \quad (5)$$

Доведення. Враховуючи властивості (1), можемо записати

$$\begin{aligned}
L_n h_{\mu\nu,\gamma}(x,y) &= \sum_{(i,j) \in G} \sum_{0 \leq \beta \leq 1} D^\beta h_{\mu\nu,\gamma}(X_{ij}, Y_{ij}) \cdot h_{ij,\beta}(x,y) = \\
&= \sum_{(i,j) \in G} \sum_{0 \leq \beta \leq 1} \delta_{\beta,\gamma} \cdot \delta_{(i,j),(\mu,\nu)} \cdot h_{ij,\beta}(x,y) = h_{\mu\nu,\gamma}(x,y), \\
&(\mu, \nu) \in G, 0 \leq \gamma_1, \gamma_2 \leq 1.
\end{aligned}$$

Теорема 3 доведена.

Теорема 4. Якщо системи вузлів $(X_{ij}, Y_{ij}) \in$ регулярними, тобто $X_{ij} = X_i, Y_{ij} = Y_j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$, то $h_{ij,\beta_1\beta_2}(x,y) = h_{i,\beta_1}(x) h_{j,\beta_2}(y)$, де

$$\begin{aligned}
h_{i,\beta_1}(x) &= \frac{(x-X_i)^{\beta_1}}{\beta_1!} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x-X_p)^2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x-X_p)^{-2} \right\}_{X_i}^{1-\beta_1}, \\
h_{j,\beta_2}(y) &= \frac{(y-Y_j)^{\beta_2}}{\beta_2!} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^n (y-Y_p)^2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^n (y-Y_p)^{-2} \right\}_{Y_j}^{1-\beta_2},
\end{aligned}$$

Доведення. Якщо $m+n=M$ та $\Gamma_{1i} : x = X_i, i = \overline{1, m}, \Gamma_{2j} : y = Y_j, j = \overline{1, n}$, тобто $A_{ij}(X_i, Y_j) = \Gamma_{1i} \cap \Gamma_{2j}$, то для випадку $\beta_1 = 0, \beta_2 = 0$

$$\begin{aligned}
h_{ij,00}(x,y) &= \frac{(x-X_i)^0 (y-Y_j)^0}{0!0!} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x-X_p)^2 \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y-Y_q)^2 \times \\
& \times \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x-X_p)^{-2} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y-Y_q)^{-2} \right\}_{A_{ij}}^{(1-0,1-0)},
\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq i}}^n (y - Y_q)^{-2} \right\}_{A_{ij}}^{(1,1)} = \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^m (X_i - X_p)^{-2} \times \\
 & \quad \times \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq i}}^n (Y_j - Y_q)^{-2} + \\
 & \quad + (x - X_i) \frac{\partial}{\partial x} \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right)_{A_{ij}} + \\
 & \quad + (y - Y_j) \frac{\partial}{\partial y} \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right)_{A_{ij}} + \\
 & \quad + (x - X_i)(y - Y_j) \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right)_{A_{ij}} = \\
 & = \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (X_i - X_p)^{-2} + (x - X_i) \left[\frac{\partial}{\partial x} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \right]_{x=X_i} \right\} \times \\
 & \quad \times \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (Y_j - Y_q)^{-2} + \\
 & \quad + (y - Y_j) \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (X_i - X_p)^{-2} \left(\frac{\partial}{\partial y} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right)_{y=Y_j} + \\
 & \quad + (x - X_i) \left(\frac{\partial}{\partial x} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \right)_{x=X_i} \times \\
 & \quad \times (y - Y_j) \left(\frac{\partial}{\partial y} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right)_{y=Y_j} = \\
 & = \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (X_i - X_p)^{-2} + (x - X_i) \left[\frac{\partial}{\partial x} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \right]_{x=X_i} \right\} \times \\
 & \quad \times \left\{ \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (Y_j - Y_q)^{-2} + (y - Y_j) \left[\frac{\partial}{\partial y} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq j}}^n (y - Y_q)^{-2} \right]_{y=Y_j} \right\} = \\
 & = h_{i,0}(x) h_{j,0}(y).
 \end{aligned}$$

Тобто

$$\begin{aligned}
 h_{ij\beta_1\beta_2}(x, y) &= \frac{(x - X_i)^{\beta_1}}{\beta_1!} \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^2 \left\{ \prod_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (x - X_p)^{-2} \right\}_{X_i}^{1-\beta_1} \times \\
 & \quad \times \frac{(y - Y_j)^{\beta_2}}{\beta_2!} \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq i}}^n (y - Y_q)^2 \left\{ \prod_{\substack{q=1 \\ q \neq i}}^n (y - Y_q)^{-2} \right\}_{Y_j}^{1-\beta_2} = \\
 & = h_{i\beta_1}(x) h_{j\beta_2}(y), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad \beta_1 = 0, \quad \beta_2 = 0.
 \end{aligned}$$

Аналогічно доводиться, що

$$\begin{aligned}
 h_{ij10}(x, y) &= h_{i1}(x) h_{j0}(y) \quad h_{ij01}(x, y) = h_{i0}(x) h_{j1}(y) \\
 \text{та } h_{ij11}(x, y) &= h_{i1}(x) h_{j1}(y).
 \end{aligned}$$

Теорема 4 доведена.

Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано загальний метод побудови операторів ермітової інтерполяції диференційовних функцій та її часткових похідних першого порядку і змішаної похідної в точках перетину M непаралельних прямих. Метод використовувався при побудові інтерполяційних поліномів Зламала-Женішека 3-го та 5-го степенів на трикутнику, які планується використати при побудові математичної моделі вектора прискорення в сейсмічній томографії між свердловинами, якщо цей вектор заданий своїми слідами в точках заданої системи свердловин. Такі сліди можна отримати за допомогою акселерометрів, розміщених на різних глибинах у свердловинах.

Список літератури: 1. Коллатц Л. Функциональный анализ и вычислительная математика. / Л. Коллатц. – М.: Мир., 1969. – 252 с. 2. Литвин О.М. Математичне моделювання розподілу корисних копалин методами інтерлінації та інтерфлетатції функцій. За ред. акад. НАНУ І.В. Сергієнка. / О.М. Литвин, Н.І. Штепа, О.О. Литвин. – Київ: Наукова Думка, 2011. – 228 с. 3. Gasca M. Polynomial interpolation in several variables / M. Gasca, T. Sauer // Advances in Computational Mathematics 0 (2001), 1-40. 4. Матвеева Ю.В. Приближение функций многочленами на треугольной сетке. / Ю.В. Матвеева. Дис. канд. физ.-мат. наук, Саратов 2008. 101 с. 5. Матвеева Ю.В. Об интерполяции кубическими многочленами третьей степени на треугольнике с использованием смешанных производных / Ю.В. Матвеева / Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия математика. Механика. Информатика. – 2007. – Т. 7. Вып. 1. – С. 28-32. 6. Zlamal M. A finite element procedure of the second order accuracy / M. Zlamal // Numer. Math., 14 (1970), 394-402. 7. Zenisek A. Interpolation polynomials on the triangle / A. Zenisek // Numer. Math. 1970. – Vol. 15. – P. 283-296. 8. Zlamal M. Mathematical aspect of the finite element method / M. Zlamal, A. Zenisek // Technical, physical and mathematical principles of the finite element method (V. Kolar et. al. eds.) Praha: Acad. VED. 1971. – P. 15-39. 9. Zenisek A. Maximum-angle condition and triangular finite elements of hermite type / A. Zenisek // Math. Comp. 1995. – V. 64. – №211. – P. 929-941. 10. Варга Р. Функциональный анализ и теория аппроксимации в численном анализе. / Р. Варга: Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 126 с. 11. Bramble J.H. Triangular elements in the finite element method / J.H. Bramble, M. Zlamal // Math. Comp. 1970. – V. 24. – P. 809-820. 12. Babushka I. On the angle condition in the finite element method / I. Babushka, A.K. Aziz // SIAM J. Numer. Anal. 1976. – V. 13. – № 2. – P. 214-226. 13. Субботин Ю.Н. Зависимость оценок многомерной кусочно полиномиальной аппроксимации от геометрических характеристик триангуляции / Ю.Н. Субботин // Труды МИАН СССР. 1989. Т. 189. – С. 117-137. 14. Субботин Ю.Н. Новый кубический элемент в МКЭ / Ю.Н. Субботин // Труды Института математики и механики. Теория функций: Сб. науч. трудов. Екатеринбург:

УрО РАН, 2005. — V. 11. — № 2. — P. 120-130. **15. Литвин О.М.** Побудова 2D кубічних інтерполяційних сплайнів класу $C_1(D)$. / О.М. Литвин, О.О. Литвин, О.І. Денисова /Збірник наукових праць Вісник Запорізького національного університету. — 2011. №1. — С. 66-74. **16. Слесаренко А.П.** Математическое моделирование регионального управления образования форм и сложных поверхностей тел. Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. № 4/4(52). — С. 52-58. **17. D. Shepard.** Two-Dimensional interpolation function For Irregularly Spaced Data // Proc 23rd Nat. Conf. ACM. — 1968. — P. 517-524. **18. Литвин О.М.** Формули Тейлора і Даламбера. Інтерлінація функцій. Методика викладання. Рекомендації викладачам і студентам. Київ: УМК ВО, 1990. — 48 с.

Надійшла до редколегії 5.03.2014

УДК 519.6

Полиномиальная эрмитова интерполяция функций 2-х переменных в узлах пересечения системы непараллельных прямых / О.О. Литвин // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 23–28.

Предложены явные формулы для операторов полиномиальной эрмитовой интерполяции, интерполирующих функцию, её частные производные первого порядка и смешанную производную в нерегулярно заданной системе узлов. Сформулированы и доказаны теоремы о базисных полиномиальных функциях и их свойствах.

Библиогр.: 18 назв.

UDC 519.6

Hermitian polynomial interpolation functions of 2 variables in the nodes of the intersection of non-parallel lines / O.O. Litvin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 23–28.

Proposed explicit formulas for the operators of Hermite interpolation polynomial interpolating function and its first order partial derivatives and mixed derivative in irregularly given system of nodes. Formulate and prove theorems on the basis of polynomial functions and their properties.

Ref.: 18 items.

УДК 004.021:519.878

И. В. Гребенник¹, Л. Н. Ребезюк², Е. Л. Ребезюк³¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, grebennik@kture.kharkov.ua² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, rebezyuk@kture.kharkov.ua³ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, stdep@kture.kharkov.ua

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ МЕТОДОВ ОДНОМЕРНОГО ПОИСКА

На основе математической модели случайных возмущений и математического описания задачи поиска экстремума унимодальной функции в условиях действия случайных возмущений сформулирована и описана математическая постановка задачи синтеза помехоустойчивых методов одномерного поиска в условиях действия случайных возмущений.

ОДНОМЕРНЫЙ ПОИСК, СЛУЧАЙНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ МЕТОДЫ, ТОЧКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ИНТЕРВАЛ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, РЕШАЮЩАЯ ФУНКЦИЯ

Введение

При решении задач оптимизации, а также при создании помехоустойчивых преобразователей формы информации компенсационного типа, являющихся неотъемлемой частью любой системы автоматизированного или автоматического управления, возникает необходимость решения задачи поиска в условиях действия случайных возмущений. При этом процесс поиска осуществляется детерминированными методами поиска точки экстремума унимодальной функции.

Классические методы одномерного поиска: дихотомии, золотого сечения не являются помехоустойчивыми и к настоящему времени не создано метода поиска в условиях действия случайных возмущений, накладываемых на процесс поиска.

Кроме этого функционирование в условиях действия случайных возмущений (помех) любой системы автоматизированного или автоматического управления сопровождается сбоями, которые не всегда могут быть обнаружены методами информационной и структурной избыточности.

В этой связи возникает необходимость в особой организации проектирования таких систем, которая смогла бы на этапе их функционирования выявлять не обнаруженные традиционными методами искажения информации под воздействием случайных возмущений. Такая организация проектирования систем и их функционирование предполагает использование специальных методов поиска, подавляющих действие случайных возмущений (помех) определенного вида и корректирующих случайное блуждание точки экстремума унимодальной функции, и вводить наряду с различными видами избыточности программную (процедурную) избыточность.

Таким образом, возникает задача разработки специальных методов поиска точки экстремума унимодальной функции в условиях действия случайных возмущений, накладываемых на процесс поиска, и, прежде всего, описать и сформулировать

математическую постановку задачи синтеза помехоустойчивых методов одномерного поиска в условиях действия случайных возмущений.

При этом необходимо учесть, что принцип алгоритмического подавления случайных возмущений (помех) будет определяться видом возмущения (помехи), накладываемого на искомую точку, принадлежащую отрезку единичной длины.

1. Виды случайных возмущений и их математическое описание

Известно [1], что случайные возмущения, которые в технике обработки и преобразования информации выступают в качестве помех, можно объединить в такие группы: импульсные, флюктуационные и синусоидальные помехи. Кроме того, "по характеру воздействия на полезный сигнал помехи подразделяются на аддитивные и мультипликативные. Подавляющая часть встречающихся на практике помех принадлежит к группе аддитивных помех" [1]. Поэтому в статье в основном будут рассмотрены алгоритмические методы подавления аддитивных помех.

Алгоритмическое подавление помех (подавление, обусловленное специальной процедурой поиска точки x^*) основано на учете особых проявлений помех той или иной группы. Так, при синтезе помехоустойчивых к импульсным помехам алгоритмов использовано то, что для помех этого класса характерно наличие интервалов времени, в которых $\xi(t) = 0$. При синтезе помехоустойчивых к синусоидальным помехам алгоритмов использовано то, что для двух соседних интервалов времени $\xi(t) = -\xi \cdot (t + \Delta t)$.

Для флюктуационных помех так же, как и для импульсных помех, можно выделить такие моменты времени, когда $\xi(t) = 0$, а, следовательно, и для них существуют алгоритмические методы подавления. В дальнейшем, под импульсной помехой будем понимать помеху, для которой существуют такие моменты времени, когда $\xi(t) = 0$.

Известно [2, 3], что случайную импульсную последовательность наиболее полно можно описать длительностью импульса, амплитудой, полярностью импульса и интервалом (паузой) между двумя соседними импульсами. Случайная импульсная последовательность может содержать импульсы с различными амплитудами, длительностями и паузами.

Очевидным является тот факт, что наибольшую неопределенность в результат поиска вносит импульс с наибольшей амплитудой и наибольшей длительностью. Нетрудно также убедиться в том, что чем меньше пауза между импульсами, тем сложнее ее подавлять.

Разделим импульсные случайные последовательности на однополярные и двухполярные. Под однополярной импульсной последовательностью будем понимать последовательность, состоящую либо только из импульсов отрицательной полярности, либо только из импульсов положительной полярности. Каждую последовательность охарактеризуем максимально возможной амплитудой a_{\max} , максимально возможной длительностью I_{\max} , минимально возможной паузой между двумя соседними импульсами H_{\min} .

Выразим a_{\max} , I_{\max} , H_{\min} через безразмерные величины:

$$\begin{aligned} a &= a_{\max} / h; \\ \ell &= I_{\max} / \Delta t; \\ H &= H_{\min} / \Delta t. \end{aligned}$$

где Δt – длительность шага алгоритма; h – дискретность преобразования интервала $(0, 1)$.

Однополярную последовательность с параметрами a, ℓ, H обозначим – $A_1(a, \ell, H)$; двухполярную последовательность обозначим – $A_2(a, \ell, H)$.

2. Особенности одномерного поиска в условиях действия случайных возмущений

Обнаружить импульсную помеху можно путем сопоставления результатов экспериментов на соседних шагах поиска. Действительно, если $\ell = 1$, $H \uparrow 0$, то выполняя эксперименты на двух соседних шагах поиска в одних и тех же точках, получим следующие исходы:

$$\begin{aligned} \text{а) } f_j(x_{\gamma_1}^j) &= \max_{\rho=1, k} \{f_j(x_{\rho}^j)\}; \\ f_{j+1}(x_{\gamma_1}^{j+1}) &= \max_{\rho=1, k} \{f_{j+1}(x_{\rho}^{j+1})\}; \\ \gamma_1 &= \overline{1, k}; j = \overline{1, i-1}; x_{\rho}^j = x_{\rho}^{j+1}; x_{\gamma_1}^j = x_{\gamma_1}^{j+1}; \\ \text{б) } f_j(x_{\gamma_1}^j) &= \max_{\rho=1, k} \{f_j(x_{\rho}^j)\}; \\ f_{j+1}(x_{\gamma_2}^{j+1}) &= \max_{\rho=1, k} \{f_{j+1}(x_{\rho}^{j+1})\}; \\ \gamma_2 &= \overline{1, k}; \gamma_1 \neq \gamma_2; x_{\rho}^j = x_{\rho}^{j+1}. \end{aligned}$$

Исход а) возможен только при отсутствии помехи; исход б) возникает в тех случаях, когда либо на j -м шаге алгоритма, либо на $(j+1)$ -м шаге действовала помеха. Причем, если возникает исход а), то новым интервалом неопределенности относительно x^* будет интервал $[x_{\gamma_1-1}^1, x_{\gamma_1+1}^1]$. Если возникает исход б), то ни интервал $[x_{\gamma_1-1}^1, x_{\gamma_1+1}^1]$, ни интервал $[x_{\gamma_2-1}^{j+1}, x_{\gamma_2+1}^{j+1}]$ не могут быть новыми интервалами неопределенности относительно x^* по той причине, что возникшее противоречие свидетельствует только о действии помехи на одном из соседних шагов алгоритма и не указывает, на каком шаге действовала помеха.

В том случае, когда $\ell > 1$, необходимо сопоставить результаты экспериментов на j -м, $(j+1)$ -м, ..., $(j+\ell)$ -м шагах алгоритма. При совпадении результатов экспериментов необходимо выделить новый интервал неопределенности; при возникновении противоречий – повторить эксперименты.

Нетрудно заметить, что совпадение результатов экспериментов говорит о том, что в интервале времени $(j \cdot \Delta t, (j+\ell+1) \cdot \Delta t)$ отсутствовало случайное возмущение, т.е. $\xi(t) = 0$. Следовательно, алгоритмические методы подавления импульсных помех сводятся к нахождению таких интервалов времени, для которых $\xi(t) = 0$. Этот подход к подавлению импульсных помех называется принципом “повторных сравнений” и реализует подход с использованием многократных сравнений измеряемой и компенсирующей величин в теории преобразования информации [2].

При этом известные классические методы одномерного поиска, такие как метод дихотомии и золотого сечения [4], не используют принцип “повторных сравнений” и поэтому обладают большим быстродействием, но низкой помехоустойчивостью, т.е. устойчивостью к воздействию случайных возмущений.

Если при выборе x_{ρ}^j использовать только принцип “повторных сравнений”, то наряду с возрастанием помехоустойчивости новых методов поиска будет наблюдаться значительное уменьшение их быстродействия [2]. В данной работе рассматриваются помехоустойчивые методы поиска, обладающие оптимальным быстродействием и заданной помехоустойчивостью.

Решающую функцию помехоустойчивых методов поиска строят на основании принципа “пересечения” [5,6] и принципа “повторных сравнений”. В первом случае решение о новом интервале неопределенности принимают без учета предыдущих шагов поиска. Подобная ситуация возникает всегда после выполнения первого шага алгоритма, а также при совершении $(\rho + z_3)$ -го его шага в том случае, когда $z_3 < \ell$ (действие помехи не окончено),

где $(\rho + z_3) \leq i$. Во втором случае решение о новом интервале неопределенности принимают с учетом предыдущих шагов поиска (действие помехи окончено). Решающую функцию в первом случае обозначим совокупностью символов d_j^1 , а во втором случае – совокупностью d_j^2 .

3. Математическая постановка задачи синтеза помехоустойчивых методов одномерного поиска

В рамках введенных понятий, принципа “пересечения” [6], минимаксного критерия оптимальности и основных положений теории поиска [7,8] задачу синтеза помехоустойчивых к $A_\nu(a, \ell, H)$ -последовательности ($\nu = 1, 2$) методов поиска x^* сформулируем в таком виде.

Дан класс F таких унимодальных функций одной переменной, для которых

$$f: I \rightarrow R, I \in [0, 1], f(x^*) = \max_x \{f(x)\}; x^* \in [0, 1].$$

Точка x^* (ее координата) в процессе поиска не меняет своего местоположения, на процесс поиска накладывается только $A_\nu(a, \ell, H)$ -последовательность.

Поиск x^* осуществляется методом, состоящим из i шагов и формирующим одновременно k точек экспериментов. Эксперимент на j -м шаге алгоритма описывается разбиением $[\tilde{x}_{q_{(j-1)}-1}^{j-1}, \tilde{x}_{q_{(j-1)}+1}^{j-1}]$ на k новых полуоткрытых интервалов:

$$A_j = \left\{ \left[\tilde{x}_{q_{(j-1)}-1}^{j-1}, x_2^j \right], \left[x_1^j, x_3^j \right], \dots, \left[x_{k-1}^j, \tilde{x}_{q_{(j-1)}+1}^{j-1} \right] \right\},$$

где $x^* \in [\tilde{x}_{q_{(j-1)}-1}^{j-1}, \tilde{x}_{q_{(j-1)}+1}^{j-1}]$, и заключаются первоначально в наблюдении (вычислении или формулировании) $f(x_{q_1}^j)$, где $q_1 = \overline{1, k}$, $(x_{q_1}^j - q_1)$ -я точка эксперимента на j -м шаге метода поиска; $x_{q_1}^j \in [\tilde{x}_{q_{(j-1)}-1}^{j-1}, \tilde{x}_{q_{(j-1)}+1}^{j-1}]$, а затем в нахождении $f_j(x_{q_1}^j) = \max_{q_1} \{f_j(x_{q_1}^j)\}$.

Множеством значений экспериментов, свободных от ошибок, является множество $z = \{1, 2, \dots, k\}$, элементы которого формируются согласно правилу:

$$\exists A_j[f(x), k] = q: \Leftrightarrow f_j(x_q^j) = \max_{\rho} \{f_j(x_\rho^j)\},$$

где $q \in z$; $\exists A_j[f(x), k]$ – условная запись элемента q множества z , заданного на разбиении A_j , которое в свою очередь зависит от функции f и количества одновременно формируемых точек эксперимента k .

Под действием импульсных помех вместо $\exists A_j$ будем наблюдать случайные величины:

$$Y A_j[f(x), A_\nu(a, \ell, H), h] = Y_j \in \psi = \{1, 2, \dots, k\}.$$

Решающие функции d_j^1 и d_j^2 формируют интервал неопределенности относительно x^*

соответственно на j -м и $(j - \ell - 1)$ -м шагах алгоритма:

$$d_j^1: Y_j \rightarrow A_j, \left[x_{q_{j-1}}^j, x_{q_{j+1}}^j \right] \subset \left[\tilde{x}_{q_{j-1}}^j, \tilde{x}_{q_{j+1}}^j \right] \subset A_j^1;$$

$$d_j^2: \{Y_{j-\ell-1}, Y_{j-\ell}, \dots, Y_j\} \rightarrow A_{j-\ell-1},$$

где $[\tilde{x}_{q_{j-1}}^j, \tilde{x}_{q_{j+1}}^j]$ – полуоткрытый интервал неопределенности относительно x^* , сформированный на основании Y_j функцией d_j^1 ; d_j^2 – функция, устанавливающая на основании последовательности случайных величин, содержащей $(\ell + 1)$ член, правильность сделанного на $(j - \ell - 1)$ -м шаге метода поиска вывода об интервале неопределенности относительно x^* .

Задача состоит в том, чтобы для любых $i > 1, k \geq 1, \varepsilon > 0$ (ε – минимально допустимое расстояние между точками двух соседних экспериментов), заданных параметров $A_\nu(a, \ell, H)$ – последовательности, синтезировать помехоустойчивый метод поиска (найти такие d_j^1, d_j^2, A_j, A_j^1), для которого имеет место ε -минимальная стратегия (1):

$$\max_{f \in F} \{l_i(f, z_i^*)\} \leq \min_{z_i \in M_1} \max_{f \in F} \{l_i(f, z_i)\} + \varepsilon. \quad (1)$$

Задача синтеза корректирующих методов поиска x^* формулируется в таком виде.

Дан класс F таких унимодальных функций одной переменной, для которых

$$f: I \rightarrow R, I = [0, 1]; f(x^*) = \max_x \{f(x)\}, x^* \in [0, 1].$$

Случайное блуждание точки x^* описывается параметрами γ_-, γ_+ , другие случайные возмущения отсутствуют. Поиск осуществляется методом, состоящим из i шагов и формирующим одновременно k точек экспериментов. Эксперимент на j -м шаге описывается разбиением A_j и заключается в вычислении либо формировании $f(x_{q_1}^j)$, где $q_1 = \overline{1, k}$, а затем – в нахождении $f(x_{q_1}^j) = \max_{q_1} \{f(x_{q_1}^j)\}$.

Выводы

Алгоритмическое подавление помех, т.е. подавление, обусловленное специальной процедурой поиска точки экстремума унимодальной функции в условиях действия определенных видов случайных возмущений, основано на учете особых проявлений помех той или иной группы.

Анализ видов случайных возмущений и их проявлений позволил математически описать случайные возмущения в виде однополярной и двухполярной последовательностей с параметрами a, ℓ, H .

В рамках теории поиска детерминированными методами рассмотрены особенности общей схемы одномерного поиска точки экстремума унимодальной функции в условиях действия определенных видов случайных возмущений, которые приводят к случайному блужданию точки экстремума. Решающую функцию помехоустойчивых методов

поиска строят на основании принципа “пересечения” и принципа “повторных сравнений”.

На основании принципа “пересечения”, минимаксного критерия оптимальности и основных положений теории поиска приведено описание математической постановки задачи синтеза помехоустойчивых методов одномерного поиска в условиях действия случайных возмущений, которое позволяет разработать методы поиска, обладающие оптимальным быстродействием и заданной помехоустойчивостью.

Список литературы: 1. Кузьмин И. В., Кедров В. А. Основы теории информации и кодирования. — К.: Вища школа, 1977. — 289 с. 2. Алипов Н.В. Об одном подходе к решению задачи синтеза помехоустойчивых алгоритмов аналого-цифрового преобразования // Электронное моделирование. — 1986. — №1, с.25-31. 3. Венскаускас К.К., Малахов Л.М. Импульсные помехи и их воздействие на системы радиосвязи (обзор) // Зарубежная радиоэлектроника. — 1978. — №1. — С. 95-125. 4. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. — М.: Факториал пресс, 2002. — 824 с. 5. Алипов Н.В. Принцип “пересечения” и его применение при алгоритмическом синтезе преобразователей информации // Проблемы создания преобразователей информации. Сборник тезисов докладов IV Всесоюзного симпозиума. — Киев, Наукова думка. — 1980. — Ч. 1. — С. 10-12. 6. Гребенник И.В., Ребезюк Л.Н., Ребезюк Е.Л. Математическая модель задачи одномерного поиска в условиях случайных возмущений // Броника интеллекта: научн.-техн. журнал. — Харьков: ХНУРЭ, 2013. — №1 (66). — С. 139-144. 7. Альсведе Р., Вегнер И. Задачи поиска. — М.: Мир, 1982. — 365 с. 8. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума: Пер. с англ. — М.: Наука, 1967. — 267 с.

Поступила в редколлегию 12.03.2014

УДК 004.021:519.878

Математична постановка задачі синтезу завадостійких методів одновимірного пошуку / І.В. Гребенник, Л.М. Ребезюк, О.Л. Ребезюк // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 29–32.

Розглянуті види випадкових збурень та їх проявів, що дозволило математично описати випадкові збурення у вигляді однополярної та двополярної послідовності.

На основі аналізу особливостей загальної схеми одновимірного пошуку точки екстремуму унімодальної функції в умовах дії певних видів випадкових збурень наведено опис математичної постановки задачі синтезу завадостійких методів одновимірного пошуку в умовах дії випадкових збурень, що дозволяє розробити методи пошуку, які мають оптимальну швидкодію та задану завадостійкість.

Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.021:519.878

Mathematical formulation of problem synthesis of noise-proof methods one-dimensional search / I.V. Grebennik, L.M. Rebezyuk, O.L. Rebezyuk // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 29–32.

The types of random perturbations and their manifestations, which allowed to mathematically describe random perturbations in the form of unipolar and bipolar sequence.

On the basis of analyzing the general scheme of the one-dimensional search of the extremum point unimodal function under the action of certain types of random perturbations describes the mathematical formulation of the problem of synthesis of noiseproof methods one-dimensional search under the action of random perturbations, which allows the development of search methods, which have given the best performance and noise stability.

Ref.: 8 items.



Alexander Kagramanyan

V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

STRUCTURE OF FACTORIZATION PROCESSES

A granular computing conception can be interpreted as information analysis of both as a group of elements associated with internal or external properties of arbitrary nature data. Multialgebraic systems as a mathematical tool for quotient sets processing is one of possible approaches for granule and granule structure synthesis and analysis. Embedded (implicit, induced by data nature) and external (given, required for the application domain) regularities can be partitioned in different modes so such factorization processes are of interest for automatic information roughening, or on the contrary, it detailing.

GRANULATION, QUOTIENT SET, N-ARY RELATION, DIFUNCTIONALITY

Introduction

The genesis of searching for sufficient (ideally, necessary) level of data (information, knowledge) presentation accuracy lies in the compromise region, as inconsistency of criteria is one of the key factors determining correctness and validity of results. A paradigm of granular computing consists in grouping elements together (in a granule) by indistinguishability, similarity, proximity or functionality in arbitrary feature or signal spaces [1]. Taking into account a semantic interpretation of why two objects are put into the same granule and how two objects are related with each other it provides one of a general methodology for intelligent data analysis on different levels of roughening or detailing. Internal, external and contextual properties of granules, collective structure of a family of granules and hierarchical structure of granules represent a possible foundation for qualitative/quantitative characterization of levels of abstraction, detail, control, explanation, difficulty, organization and so on [1]. Because the quotient spaces have a set of favorable structural properties they become a suitable model of granulation [2, 3].

Multialgebraic systems [4-6] can be pointed out as one of the possible granular computing 'languages'. They generalize results of traditional algebraic systems [7] and allow synthesizing and identifying algebras, models, and algebraic systems (with carriers that join families of sets of arbitrary nature), for different mathematical structures, eventually allowing operation with granules as equivalence classes without distinguishing particular class members.

1. Problem Statement

It is clear that an arbitrary n-ary relation induces any k-ary relation from 1 to n on different carriers. This is done as follows: by assuming that n-ary relation is initially defined on a carrier in a form of Cartesian product $\bar{A} = A_1 \times \dots \times A_n$ of sets of arbitrary nature (in general case), any ordered and examined collection of sets $\{A_1, \dots, A_n\}$ produces Cartesian product $B_1 = A_{k_1} \times \dots \times A_{k_s}$ which is a set. Complement $\{A_{k_1}, \dots, A_{k_s}\}$ to $\{A_1, \dots, A_n\}$ in a form of Cartesian product produces set $B_2 = A_{r_1} \times A_{r_2} \times \dots \times A_{r_l}$, thus, in whole, binary relation on a carrier $B_1 \times B_2$ is induced.

Ternary (or any other) relation can be induced similarly. Thereby initial n-ary relation S may induce k-ary relation S/P_k which amounts to a certain partition P_k of set $\{A_1, \dots, A_n\}$ into k ordered parts. The goal of the paper consists in investigation of conditions which provide various partitions produced by relation subsets.

2. General Scheme of Multialgebraic Structure Induction

Relation S/P_k is formally specified on $B_1 \times \dots \times B_k$ where

$$\begin{aligned} B_1 &= A_{r_{11}} \times A_{r_{12}} \times \dots \times A_{r_{1l_1}}, \\ B_2 &= A_{r_{21}} \times A_{r_{22}} \times \dots \times A_{r_{2l_2}}, \\ &\dots \\ B_k &= A_{r_{k1}} \times A_{r_{k2}} \times \dots \times A_{r_{kl_k}} \end{aligned} \tag{1}$$

and

$$\begin{aligned} r_{11} &< r_{12} < \dots < r_{1l_1}, \\ r_{21} &< r_{22} < \dots < r_{2l_2}, \\ &\dots \\ r_{k1} &< r_{k2} < \dots < r_{kl_k} \end{aligned}$$

with this, sets from the right side of the equations (1) belong to collection of sets $\{A_1, \dots, A_n\}$, and $l_1 + l_2 + \dots + l_k = n$.

It is not hard to notice that relation S/P_k is specified on a collection of points, each of which is a result of projection of \bar{A} into B_i , $i=1, k$. Indeed, by fixing element $\bar{a} = (a_1, \dots, a_n) \in \bar{A}$, where $a_i \in A_{r_i}$, $i=1, n$, and elements b_1, \dots, b_k respectively, for which $b_i \in B_i$, $i=1, k$ and

$$\begin{aligned} \bar{b}_1 &= (a_{r_{11}}, a_{r_{12}}, \dots, a_{r_{1l_1}}), \\ \bar{b}_2 &= (a_{r_{21}}, a_{r_{22}}, \dots, a_{r_{2l_2}}), \\ &\dots \\ \bar{b}_k &= (a_{r_{k1}}, a_{r_{k2}}, \dots, a_{r_{kl_k}}) \end{aligned}$$

are held, then mappings

$$f_i(\bar{a}) = \bar{b}_i, \quad i=1, k$$

are simply projectors, as is customary for arithmetical spaces \mathbb{R}^n . When we pick some ordered set of coordinates S from coordinates n, we actually project \mathbb{R}^n into \mathbb{R}^S . It can be schematically presented as follows.

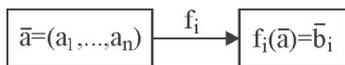


Fig. 1

Now consider induced relation S/P_k specified on $\bar{B}=B_1 \times \dots \times B_k$. As for any relation, equivalence classes will be formed on each B_i in a known manner, i.e. $\bar{b}_i \sim \bar{b}'_i$ if

$$S/P_k(\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_{i-1}, \bar{b}_i, \bar{b}_{i+1}, \dots, \bar{b}_k) \equiv S/P_k(\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_{i-1}, \bar{b}'_i, \bar{b}_{i+1}, \dots, \bar{b}_k)$$

for any element

$$(\bar{b}_1, \dots, \bar{b}_{i-1}, \bar{b}_i, \bar{b}_{i+1}, \dots, \bar{b}_k) \in B_1 \times \dots \times B_{i-1} \times B_i \times B_{i+1} \times \dots \times B_k$$

Actually, indiscernible elements (from the point of the relation) fall into one equivalence class. Factorization procedure takes place at this stage, and k-ary multirelation $M[S/P_k]$ specified on equivalence classes is induced along with corresponding mappings that are to be called classifying mappings and denoted by α_i . It can be schematically illustrated as follows (see fig. 2).

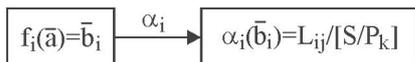


Fig. 2

Here, $j=\bar{1}, \bar{l}_i$, $L_{ij}/[S/P_k]$ denotes equivalence classes induced on set B_j , and l_i denotes the amount of these classes. Thus, the following set is formed

$$L_i = \{L_{i1}/[S/P_k], \dots, L_{il_i}/[S/P_k]\}$$

and $i=\bar{1}, \bar{k}$. Eventually, k-ary multirelation $M[S/P_k]$ is specified on Cartesian product $L_1 \times \dots \times L_k$.

Now it is easy to see that the general scheme of induction of k-ary multirelation $M[S/P_k]$ by arbitrary n-ary relation S looks like this (see fig. 3).

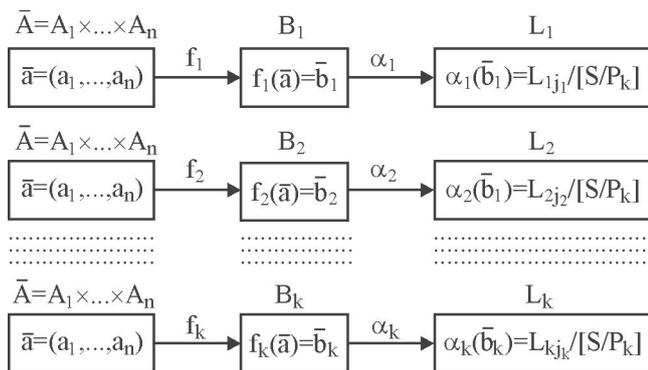


Fig. 3

In fact, if the value of initial n-ary relation S at point \bar{a} is known, then the value of k-ary multirelation $M[S/P_k]$ is formed according to the scheme from fig. 3:

– at the first stage, the value of k-ary relation S/P_k is defined by the following equation brought on by projectors $\{f_i\}_{i=1}^k$

$$S(\bar{a}) = S/P_k(f_1(\bar{a}), \dots, f_k(\bar{a})) = S/P_k(\bar{b}_1, \dots, \bar{b}_k) \quad (2)$$

– at the second stage, the value of k-ary multirelation $M[S/P_k]$ is defined by the following equation brought on by classifying mappings $\{\alpha_i\}_{i=1}^k$

$$S/P_k(\bar{b}_1, \dots, \bar{b}_k) = M[S/P_k](\alpha_1(\bar{b}_1), \dots, \alpha_k(\bar{b}_k)) \quad (3)$$

From (2) and (3) the whole chain of equations is obtained

$$S(a_1, \dots, a_n) = S(\bar{a}) = S/P_k(f_1(\bar{a}), \dots, f_k(\bar{a})) = S/P_k(\bar{b}_1, \dots, \bar{b}_k) = M[S/P_k](\alpha_1(\bar{b}_1), \dots, \alpha_k(\bar{b}_k))$$

which explicitly shows relationship between n-ary relation S and its induced k-ary multirelation $M[S/P_k]$.

For now, let us make some remarks.

Remark 1. General induction procedure of k-ary multirelation $M[S/P_k]$ by arbitrary n-ary relation S always takes place.

Next lemma essentially follows from the previous remark in terms of algebraic system terminology [7].

Lemma 1. Arbitrary model $\langle \bar{A}, S \rangle$, where S is n-ary relation with carrier $\bar{A}=A_1 \times \dots \times A_n$, always produce model $\langle \bar{L}, M[S/P_k] \rangle$ where $M[S/P_k]$ is k-ary relation (or, more precisely, multirelation) with carrier $\bar{L}=L_1 \times \dots \times L_k$, while L_i is a set of equivalence classes with $i=\bar{1}, \bar{k}$, $k=\bar{1}, \bar{n}$.

Remark 2. In general, sets L_i may be of different cardinality, but algebraic structures of type $\langle A, \mathcal{F}, \mathcal{P} \rangle$ are met more often, where A is an arbitrary set (carrier), \mathcal{F} is a set of relations defined on Cartesian powers of A with different order, and \mathcal{P} is a set of operations defined on Cartesian powers of A with different order. Well-known algebraic structures (such as semigroup, group, ring, field, etc.) fall into this scheme. Hence the next remark arises.

Remark 3. It is worth to mention the following situations for the general scheme of factorization and induction of multisystems:

- i) n-ary relation induces k-ary multirelation with a common carrier, i.e. in a form of Cartesian power of order k;
- ii) n-ary relation induces a set of multirelations of different order, but with a carrier common for all of them in a form of Cartesian powers of different order;
- iii) a set of relations of different order induces a set of multirelations of different order, but with a carrier common for all of them.

For instance, by considering previous works [8, 9], multigroup falls into situation described in item i), which is the most simple one and should be examined at the beginning.

Let us state a problem to find out conditions under which k-ary multirelation $M[S/P_k]$, induced by n-ary relation S , has a common carrier.

First, it should be noted that in this case, the sets of equivalence classes L_1, L_2, \dots, L_k must be equipotent

$$|L_1| = |L_2| = \dots = |L_k|.$$

This means that with an accuracy of nature of the sets, there is a set L and some one-to-one mapping ϕ for which the following is true

$$\varphi(L_i) = L, \quad i = \overline{1, k}.$$

In such a case, the general scheme of induction of k -ary multirelation $M[S/P_k]$ by arbitrary n -ary relation S , given in fig. 3, should be refined as each of its rows is expanded by an element with the following scheme (fig. 4).

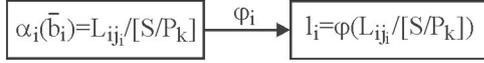


Fig. 4

It means that the whole scheme will look as follows (fig. 5).

Here, mappings f_i are projectors, α_i are called classifying mappings, one-to-one mapping φ is added, which will be called resulting mapping in future.

It should be emphasized that a whole set of mappings appears as well in the scheme from fig. 5. They are going to play an important role in future, so they should be observed more carefully.

Consider two arbitrary elements \bar{a}_1 and \bar{a}_2 that belong to \bar{A} , and fix two projectors f_p and f_q , $p, q = \overline{1, k}$. It is clear that after the influence of classifying mappings α_p and α_q on elements $f_p(\bar{a}_1)$ and $f_q(\bar{a}_2)$, the latest fall into some equivalence classes that belong to sets L_p and L_q respectively, i.e. the following superpositions of projectors and classifying mappings appear

$$\begin{aligned} [\alpha_p \circ f_p](\bar{a}_1) &= \alpha_p(f_p(\bar{a}_1)) = L_{p_j} / [S/P_k], \\ [\alpha_q \circ f_q](\bar{a}_2) &= \alpha_q(f_q(\bar{a}_2)) = L_{q_j} / [S/P_k] \end{aligned}$$

where symbol ‘ \circ ’ indicates superposition of mappings.

Assume that the following is fulfilled under effect of final one-to-one mapping φ

$$\varphi(L_{p_j} / [S/P_k]) = \varphi(L_{q_j} / [S/P_k]),$$

i.e. we fall into the same class or element of set L . Hence, elements \bar{a}_1 and \bar{a}_2 from set \bar{A} may be put into correspondence with each other due to belonging to the same class or element of set L . The next given equations are true for these elements

$$[\varphi \circ \alpha_p \circ f_p](\bar{a}_1) = [\varphi \circ \alpha_q \circ f_q](\bar{a}_2) \quad (4)$$

or

$$\varphi(\alpha_p(f_p(\bar{a}_1))) = \varphi(\alpha_q(f_q(\bar{a}_2))). \quad (5)$$

In such a case the next rule can define mapping ψ_{pq} which acts from \bar{A} to \bar{A} or $\psi_{pq} : \bar{A} \rightarrow \bar{A}$

$$\varphi(\alpha_p(f_p(\bar{a}_1))) = \varphi(\alpha_q(f_q(\bar{a}_2)))$$

if only (4) or (5) is held.

It will be called classifying mapping on \bar{A}^2 .

Examine some properties of these mappings. Denote superposition of mappings φ_p, α_p, f_p by F_p , i.e.

$$F_p = \varphi_p \circ \alpha_p \circ f_p. \quad (6)$$

From the rule (6) it follows that

$$\psi_{pq}(\bar{a}_1) = \bar{a}_2 \Leftrightarrow F_p(\bar{a}_1) = F_q(\bar{a}_2). \quad (7)$$

When $p = q$, the following is obtained

$$\psi_{pp}(\bar{a}_1) = \bar{a}_2 \Leftrightarrow F_p(\bar{a}_1) = F_p(\bar{a}_2). \quad (8)$$

From (8) it is clear that lines from a level of functional mapping F_p (mappings F_p, φ_p, α_p and f_p are functional mappings with a single image, i.e. for F_p and φ_p there is a single element of set L , f_p and α_p are the sole elements of sets B_p and L_p correspondingly) are an image and pre-image of mapping ψ_{pp} for any $p = \overline{1, k}$, or they specify partition on \bar{A} and, hence, an equivalence on \bar{A} in a following way

$$\bar{a}_1 \sim \bar{a}_2 \Leftrightarrow \psi_{pp}(\bar{a}_1) = \bar{a}_2.$$

When $p \neq q$, mapping ψ_{pq} provides correspondence between two partitions on \bar{A} , that are induced by lines from a level of mappings F_p and F_q .

Formally it is expressed by equations (7) and (8), but in fact it means that mappings ψ_{pp} and ψ_{pq} are multi-valued, and mapping ψ_{pp} provides correspondence for any \bar{a}_1 from \bar{A} with any element \bar{a}_2 from \bar{A} , if they fall into the same class (element of set L) under effect of mapping F_p (they have one image). This can be schematically presented as follows i.e. correspondence for any element \bar{a}_1 from set \bar{A}_s (partition element or a line of level F_p) under mapping ψ_{pp} is provided with any element \bar{a}_2 from this set.

If mapping ψ_{pq} is taken into consideration, there are two partitions for it, namely lines from a level of mapping F_p (see fig. 6) and lines of level F_q (see fig. 8)

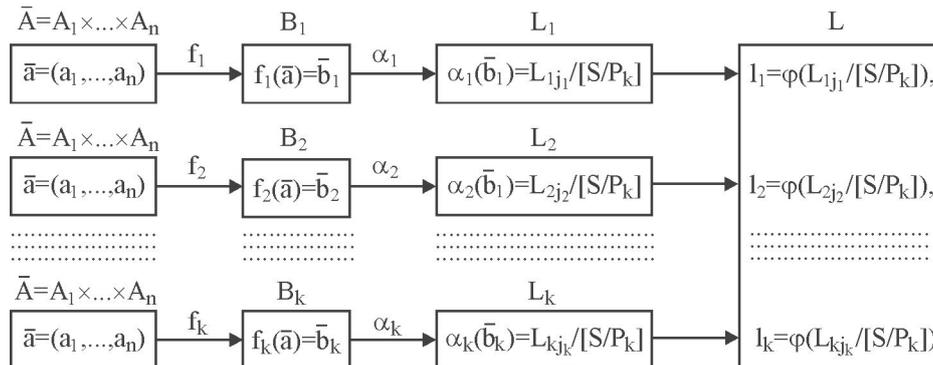


Fig. 5

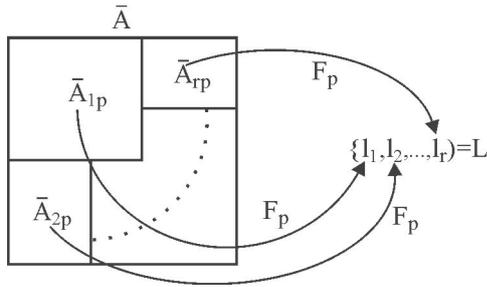


Fig. 6

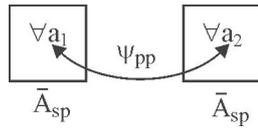


Fig. 7

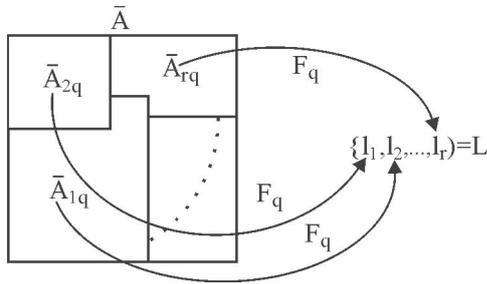


Fig. 8

i.e. if set \bar{A}_{s_1p} (line from a level of mapping F_p) under this mapping F_p moves to the same class (element of set L) as a set \bar{A}_{s_2q} (line of level F_q) under effect of mapping F_q (see fig. 10), then the scheme from fig. 9 takes place: mapping ψ_{pq} provides correspondence for any element \bar{a}_1 from set \bar{A}_{s_1p} with any element \bar{a}_2 from set \bar{A}_{s_2q} . Thus, ψ_{pq} is multivalued mappings between elements that move to the same element of set L under mappings F_p and F_q .

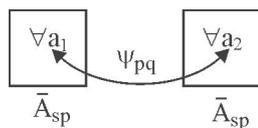


Fig. 9

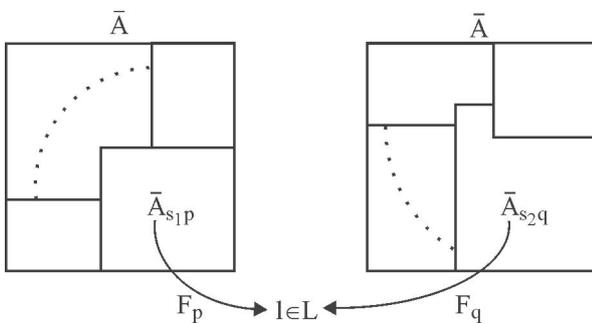


Fig. 10

Remark 4. In the figures above cardinality of set L is defined as a finite one for simplicity, though it is not obvious.

It is not hard notice that lines from a level of mappings F_p , notably set \bar{A}_{s_1p} with any p , form a collection

or a set which cardinality does not depend on p . Thus, by fixing $p \neq q$, binary relation T_{pq} defined on Cartesian square \bar{A}^2 and built under the following rule

$$T_{pq}(\bar{a}_1, \bar{a}_2) = 1 \Leftrightarrow F_p(\bar{a}_1) = F_q(\bar{a}_2) \quad (9)$$

will be the relation of difunctionality.

Indeed, equations that are held for the relation T_{pq}

$$T_{pq}(\bar{a}_1, \bar{a}_2) = 1, T_{pq}(\bar{a}_3, \bar{a}_2) = 1, T_{pq}(\bar{a}_3, \bar{a}_4) = 1 \quad (10)$$

influence a number of equations for mappings F_p and F_q

$$F_p(\bar{a}_1) = F_q(\bar{a}_2), F_p(\bar{a}_3) = F_q(\bar{a}_2), F_p(\bar{a}_3) = F_q(\bar{a}_4),$$

from which it is clear that

$$F_p(\bar{a}_1) = F_q(\bar{a}_4),$$

and because of (9), the following equation is obtained

$$T_{pq}(\bar{a}_1, \bar{a}_4) = 1. \quad (11)$$

Thus, for the relation T_{pq} equation (11) is obtained from a number of equations in (10), which testifies difunctionality of the relation T_{pq} .

In general, steps needed to be performed for factorization procedure or induction of k -ary relation with a common carrier using mappings F_p look simple. If mappings F_p have a common image, i.e.

$$\text{Im } F_p = L, \forall p \in \{1, \dots, k\},$$

it means that acting projector at the beginning, and then the classifier, superposition of which is the mapping F_p , influences induction of binary relations T_{pq} , all of which are difunctional in this case.

Thus, next lemma is proved.

Lemma 2. An arbitrary model $\langle \bar{A}, S \rangle$, where S is n -ary relation with carrier $\bar{A} = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, produces model $\langle \bar{L}, M[S/P_k] \rangle$ where $M[S/P_k]$ is k -ary multirelation with carrier $\bar{L} = L^k$ (common carrier), then in such a case binary relations T_{pq} are difunctionality relations under $\forall p, q \in \{1, \dots, k\}$

Remark 5. If $p=q$ then relation T_{pq} is an equivalence relation that is a special case of difunctional relation.

Consequently, difunctionality of the relations T_{pq} is a necessary condition for common carrier formation. A question arises concerning sufficient conditions.

Conclusion

Within the scope of granular computing conception on the base of multialgebraic system tools a problem of arbitrary arity relation reduction has been considered. This reduction produces different quotient sets which represent unified carriers for various multialgebraic structures. A necessary condition for common carrier formation has been established and search for sufficient conditions remains a unsolved problem.

References: 1. Handbook of granular computing / Pedrycz W., Skowron A., Kreinovich V. (eds.). – Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 2008. – 1116 p. 2. Yao, Y.Y. A partition model of granular computing. // Transactions on Rough Sets I / Peters

J.F., Skowron A., Grzymala-Busse J.W., et al. (eds.). Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. – Vol. 3100. – 2004. – pp. 232–253. **3. Zhang L., Zhang B.** The quotient space theory of problem solving // *Fundamenta Informaticae*. – Vol. 59, No. 2–3. – 2004. – pp. 287–298. **4. Mashtalir V.P., Shlyakhov V.V.** Properties of multialgebraic systems in problems of comparative recognition // *Cybernetics and Systems Analysis*. – Vol. 39, No. 6. – 2003. – pp. 790–804. **5. Kagramanyan A., Mashtalir V., Shlyakhov V.** Multialgebraic systems in information granulation // *International Journal “Information Theories and Applications”* – 2008. – Vol. 15., No 1. – pp. 55–63. **6. Kagramanyan A., Mashtalir V., Shlyakhov V.** Multialgebraic structures existence for granular computing // *Proc. of XIII-th International Conference Knowledge-Dialogue-Solutions*. – Sofia: FOI-COMMERCE. – Vol. I. – 2007. – pp. 322–330. **7. Maltsev A.I.** Algebraic systems. – Moscow: Nauka, 1970. – 392 p. (in Russian) **8. Mashtalir V., Mikhnova E., Shlyakhov V.** Multigroups in Granular Computing Paradigm. Part 1. Formalistic Premises // *Proceedings of 19-th Zittau East-West Fuzzy Colloquium*. – Zittau: HS Zittau / Görlitz. – 2012. – pp. 226–233. **9. Kinoshenko Ie., Mashtalir S., Shlyakhov V.** Multigroups in granular computing paradigm. Part 2. Conditions of existence and examples // *Proceedings of 19-th Zittau East-West Fuzzy Colloquium*. – Zittau: HS Zittau/Görlitz. – 2012. – pp. 234–241.

Поступила в редколлегию 19.03.2014

УДК 004.93'1

Структура факторизационных процессов / А. Каграманян // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 33–37.

Концепция грануляционного исчисления может трактоваться как анализ информации в виде групп элементов, связанных внутренними или внешними свойствами данных произвольной природы. Мультиалгебраические системы как математический аппарат для обработки фактор-множеств – один из возможных подходов к синтезу и анализу гранул и их структур. Внедренные (неявные, индуцированные природой данных) и внешние (заданные, требуемые прикладными задачами) взаимосвязи могут разбиваться различными путями, поэтому эти факторизационные процессы интересны для автоматического огрубления или, напротив, детализации информации.

Ил.10. Библиогр.: 9 назв.

УДК 004.93'1

Структура факторизаційних процесів / О. Каграманян // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 33–37.

Концепція грануляційних обчислень трактуватися як аналіз інформації у вигляді груп елементів, які пов'язані внутрішніми або зовнішніми властивостями даних довільної природи. Мультиалгебраїчні системи як математичний апарат до синтезу та аналізу гранул та їх структур. Впроваджені (неявні, індуковані природою даних) та зовнішні (задані, які необхідні прикладними задачами) взаємозв'язки можуть розбиватися різними шляхами, тому ці факторизаційні процеси цікаві для автоматичного огрубіння або, навпаки, деталізації інформації.

Іл. 10. Бібліогр.: 9 найм.

УДК 004.932.2:004.93'1

Н. В. Власенко¹, В. А. Гороховатский²¹ ХНЭУ им. С. Кузнеца, г. Харьков, Украина, e-mail: gorohovatskaja@gmail.com,² ХИБД УБД НБУ, г. Харьков, Украина, e-mail: gorohovatsky-v@rambler.ru

ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРИЗНАКОВ В МЕТОДАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Обсуждается построение критериев для оценивания качества методов распознавания на основе матрицы расстояний в базе изображений. Предложены модели критерия и примеры их реализации. Приведены результаты экспериментов по анализу и классификации изображений в базах визуальных данных.

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ, БАЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, МАТРИЦА РАССТОЯНИЙ, КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ

Введение

В современных структурных методах распознавания, основанных на представлении и анализе описаний визуальных объектов в виде множества дескрипторов (числовых векторов), актуальным является выбор такой системы признаков, которая позволяет наиболее эффективно осуществлять распознавание с точки зрения показателей быстродействия и достоверности, определяемой значением вероятности правильного распознавания [1]. В частности, при применении ортогональных трансформаций к структурным описаниям с целью построения новых более эффективных представлений на основе ограниченного подмножества функций Уолша (ФУ) необходимо отобрать как можно меньшее число ФУ (критерий быстродействия), в то же время обеспечивая достаточно высокую вероятность распознавания (критерий достоверности) [2]. Если быстродействие может быть оценено путем анализа объема вычислений на основе применяемого метода и выбранной системы признаков, то достоверность распознавания трудно оценить на предварительном этапе без практического применения метода для конкретных баз изображений. Прикладным подходом к решению рассматриваемой задачи есть экспериментальное вычисление вероятности распознавания при выборе всевозможных допустимых наборов ФУ. Однако этот путь требует объемных вычислений, вызванных значительными размерами баз изображений и связанных с перебором допустимого множества систем признаков с учетом геометрических преобразований и помех.

Перспективным и в то же время более простым способом есть построение и анализ (на предварительном этапе) матрицы расстояний для обрабатываемой базы объектов-изображений с последующим сопоставлением значений критерия эффективности для разных систем признаков путем оценивания достоверности распознавания на основе значений элементов этой матрицы. Матрица расстояний R – это симметричная числовая матрица размером $N \times N$, которая содержит

попарные расстояния между N эталонными объектами базы при применении конкретного метода на основе фиксированной системы признаков [3]. На диагонали этой матрицы, содержащей расстояния объектов самих с собой, при отсутствии искажений стоят нули. Недиagonальные элементы матрицы отражают значения близости разных объектов базы между собой (межклассовое расстояние), т.е. характеризуют, в какой степени эталоны базы схожи между собой в выбранной системе признаков с использованием конкретного расстояния $\rho(Z^1, Z^2)$ между структурными описаниями Z^1, Z^2 . Такой содержательный смысл матрицы расстояний позволяет использовать множество ее элементов для построения критериев, связанных с оценкой достоверности распознавания.

Цель настоящего исследования – построение критериев для оценивания качества распознавания в произвольной базе изображений на основе вычисления матрицы расстояний для выбранного метода и системы признаков, а также непосредственное определение значений критериев для конкретных методов и баз изображений.

1. Критерии для оценивания эффективности системы признаков

Пусть $O = \{O^k\}$ – база объектов (изображений), $Z = \{Z^k\}$ – множество описаний объектов (пространство признаков), $E = \{E^j\}_{j=1}^N$, $E \subseteq O$ – конечное множество эталонных объектов, определяющее фиксированное число N классов в базе O , M – метод классификации. Классификацию объекта будем рассматривать как отображение

$$M: O \rightarrow Z \rightarrow E, \quad (1)$$

которое определяет номер $j = \overline{1, N}$ класса распознаваемого объекта. В самом общем случае критерий γ качества классификации можно считать функцией $\gamma = \gamma(M, O, Z, E)$. Для конкретности будем считать $0 \leq \gamma \leq 1$. Изменение любого из параметров M, O, Z, E непосредственно влияет на значение критерия γ .

Построим на основе применяемого метода с фиксированными параметрами M, O, Z, E матрицу

расстояний R , предполагая, что вид расстояния $\rho(Z^1, Z^2)$ между описаниями уже включен в метод распознавания M . Определим минимальный элемент ρ_{\min} вне диагонали матрицы R . Можно отметить, что чем ближе значение ρ_{\min} к нулю, тем значительнее два разных объекта, для которых он получен, будут похожи между собой. Значит, в процессе распознавания (особенно в условиях преобразований и помех) эти объекты могут быть неправильно установлены распознающей системой. Если $\rho(Z^1, Z^2)$ – некоторое расстояние между структурными описаниями $Z^1 = \{z^1(i)\}, Z^2 = \{z^2(m)\}$ двух объектов, то значение минимума матрицы расстояний

$$\rho_{\min} = \min_{\substack{i=1, \overline{N-1} \\ m=i+1, \overline{N}}} \rho(Z^i, Z^m) \quad (2)$$

будем считать критерием при оценке достоверности распознавания. Чем меньше значение ρ_{\min} , тем ниже качество распознавания в данной системе признаков для конкретной базы, т.е. при выбранных параметрах M, O, Z, E . Заметим, что поиск минимума в (2) объясняется тем фактом, что ρ является метрикой, вид которой определяется описаниями из Z . Учитывая, что модель описания в методах структурного распознавания изображений – это вектор или множество векторов, то ρ есть метрика для векторов или для конечных множеств векторов.

Матрица попарных расстояний для базы (конечного множества) многомерных объектов нашла практическое применение в ряде задач визуализации многомерных данных [4] при оценивании качества представления множества объектов в синтезированном пространстве признаков. Учитывая, что здесь основным фактором есть степень изменения структуры данных после отображения в новое пространство, ошибку визуализации оценивают путем минимизации функционала, характеризующего меру отклонений между нормированными матрицами расстояний для этих пространств

$$v = \sqrt{\frac{2}{s(s-1)} \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s (\rho(X^i, X^j)/V - \rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j)/\tilde{V})^2}, \quad (3)$$

где s – число объектов, X^i, \tilde{X}^i – исходное и преобразованное пространства,

$$V = \max_{\substack{i=1, \overline{s-1} \\ j=i+1, \overline{s}}} \rho(X^i, X^j), \quad \tilde{V} = \max_{\substack{i=1, \overline{s-1} \\ j=i+1, \overline{s}}} \rho(\tilde{X}^i, \tilde{X}^j) -$$

нормировочные коэффициенты к отрезку $[0, 1]$.

Как можно увидеть, ошибка (3) определяется усредненным евклидовым расстоянием между нормированными элементами матриц расстояний в двух пространствах X^i, \tilde{X}^i представления данных. В соотношении (3) учтены лишь расстояния между объектами разных классов, что с учетом симметрии матрицы расстояний отражает считающуюся ошибочной близость разных объектов

между собой. Исходя из выражения (3), рассмотрим еще один критерий для оценивания качества классификации с использованием всех элементов матрицы расстояний R , который в агрегированном виде учитывает суммарное отклонение для подмножества элементов R (выше диагонали) в виде

$$v = \frac{1}{\rho_{\max}} \sqrt{\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{m=i+1}^N \rho^2(Z^i, Z^m)}, \quad (4)$$

где $\rho_{\max} = \max_{\substack{i=1, \overline{N-1} \\ m=i+1, \overline{N}}} \rho(Z^i, Z^m)$ – максимальный элемент

выше диагонали симметрической матрицы расстояний R . Фактически критерий (4) представляет собой разновидность нормы вектора, сформированного из элементов выше диагонали матрицы R .

Обобщая приведенные рассуждения, критерий v качества распознавания в конечной базе изображений можно представить как некоторую функцию от подмножества элементов матрицы расстояний R , т.е.

$$v = F\{\rho(Z^i, Z^m) : i = \overline{1, N-1}, m = \overline{i+1, N}\}. \quad (5)$$

Критерий (5), который определяется конкретным видом функции F , может быть построен как интегральным способом в виде (2), (4), так и процедурным путем за счет анализа отдельных строк (столбцов) матрицы R . Эта возможность объясняется тем, что каждая строка или столбец матрицы содержит информацию о расстояниях объекта до остальных элементов базы, что может характеризовать, насколько этот объект отличается от других объектов базы при фиксированных параметрах вида описания и метода распознавания.

2. Результаты компьютерных экспериментов

Проведенное компьютерное моделирование осуществлялось для двух баз изображений – домашних животных и насекомых, примеры которых приведены на рис. 1. Каждая из этих баз содержит по 12 изображений. Описание Z объектов в виде множества дескрипторов сформировано путем применения метода SURF[5].

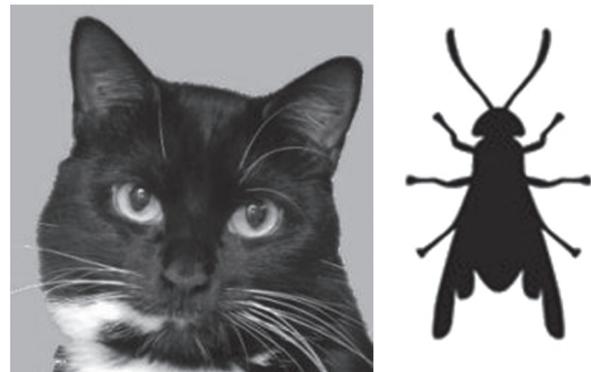


Рис. 1. Примеры изображений из баз домашних животных и насекомых

С целью сравнительного анализа эффективности методов классификации исследовались варианты построения систем признаков на основе применения преобразования Уолша к описанию изображения с использованием разнообразных вариантов выбора кортежей и различного числа ФУ в этих кортежах [2]. Ключевым параметром есть применяемое для трансформации системы Z число ФУ, т.к. от этого параметра напрямую зависит как быстродействие, так и качество распознавания. База изображений предварительно обрабатывалась, осуществлена сортировка ФУ по убыванию значений дисперсии наибольшего отклика среди множества 64 ФУ в соответствии с разработанным методом [2]. Каждый элемент описания изображения (вектор размерности 64) классифицировался к конкретной ФУ в соответствии с квадратом максимального отклика среди всех 64 ФУ. В результате исходное описание Z (множество векторов) приобретало векторное представление $u[Z] = (u_1, \dots, u_q)$, $u_i \geq 0$, где q – число применяемых ФУ в выбранной системе признаков. Расстояние между векторами определялось в соответствии с метрикой

$$\rho[u^a, u^b] = \frac{\sum_{i=1}^q |u_i^a - u_i^b|}{\sum_{i=1}^q \max(u_i^a, u_i^b)} \quad (6)$$

Изучены в сравнительном плане такие варианты построения систем признаков с использованием следующих принципов выбора подмножества ФУ:

- 1) полный набор из 64 ФУ;
- 2) первые три ФУ из отсортированного списка (исходные номера 1, 3, 49);
- 3) три ФУ с номерами 4-6 (исходные номера 33, 2, 50);
- 4) пять ФУ с номерами 4-8;
- 5) восемь ФУ с номерами 4-11;
- 6) шестнадцать ФУ с номерами 4-19;
- 7) тридцать две ФУ с номерами 4-35;
- 8) сорок восемь ФУ с номерами 4-51.

Рис. 2 содержит пример гистограмм векторного описания для первого изображения рис. 1, соответствующие его представлению в системах 3, 5, 6. В табл. 1 приведена матрица расстояний для базы изображений животных с применением системы признаков 6.

Табл. 2 содержит значения критерия (2) для рассматриваемых систем признаков(1-8).

Как видим из табл. 2, характеристики для систем 1 и 2 полностью совпадают, т.к. ФУ с номерами 1, 3, 49 отдельно или в составе всех 64 ФУ в полном объеме «перетягивают на себя» все векторы

Таблица 1

Матрица расстояний в базе животных для системы признаков 6

0	0,4311	0,6111	0,6048	0,4285	0,4741	0,5104	0,3631	0,455	0,4347	0,4514	0,4303
0,4311	0	0,6467	0,4285	0,5133	0,4150	0,4196	0,3425	0,2884	0,4145	0,3102	0,5952
0,6111	0,6467	0	0,7647	0,6148	0,6682	0,6778	0,5889	0,6097	0,6793	0,6880	0,5847
0,6048	0,4285	0,7647	0	0,6533	0,4106	0,3738	0,5222	0,4901	0,6011	0,3544	0,7147
0,4285	0,5133	0,6148	0,6533	0	0,6083	0,6285	0,4098	0,4627	0,3111	0,5894	0,4900
0,4741	0,4150	0,6682	0,4106	0,6083	0	0,3510	0,4254	0,4936	0,5692	0,2921	0,6232
0,5104	0,4196	0,6778	0,3738	0,6285	0,3510	0	0,4572	0,4525	0,6350	0,2405	0,7210
0,3631	0,3425	0,5889	0,5222	0,4098	0,4254	0,4572	0	0,4141	0,4106	0,4170	0,5117
0,455	0,2884	0,6097	0,4901	0,4627	0,4936	0,4525	0,4141	0	0,4502	0,4120	0,5574
0,4347	0,4145	0,6793	0,6011	0,3111	0,5692	0,6350	0,4106	0,4502	0	0,5687	0,5056
0,4514	0,3102	0,6880	0,3544	0,5894	0,2921	0,2405	0,4170	0,4120	0,568	0	0,6327
0,4303	0,5952	0,5847	0,7147	0,4900	0,6232	0,7210	0,5117	0,5574	0,505	0,632	0

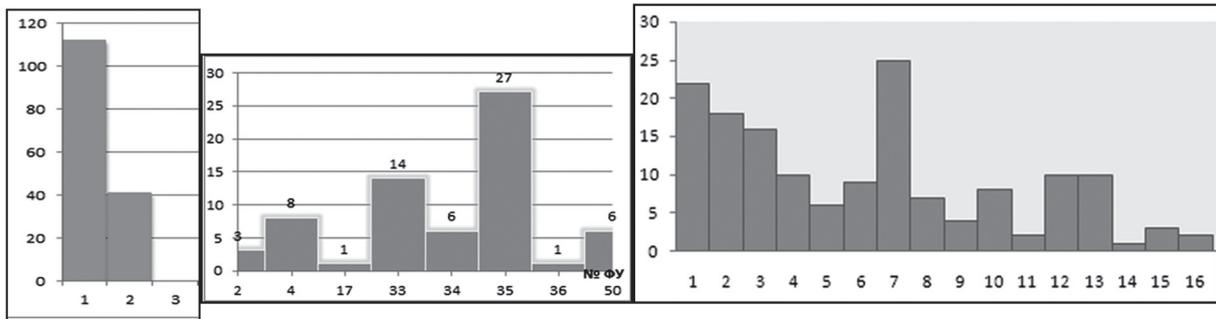


Рис. 2. Представление описания в системах признаков 3, 5, 6

Таблица 2

Значения критерия (2) для различных систем признаков

База изображений	Системы признаков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Животные	0,029	0,029	0,044	0,104	0,172	0,241	0,291	0,324
Насекомые	0,059	0,059	0,038	0,103	0,243	0,281	0,382	0,382

из исходного описания изображения. В результате все элементы описания классифицируются к ФУ с номерами 1 и 2 (рис. 2). Эта ситуация характерна для обеих исследуемых баз изображений.

С увеличением количества используемых ФУ с 3-х до 48-ми (варианты систем признаков 3-8) значение минимума матрицы R увеличивается с 0,044 до 0,324, т.е. качество распознавания явно улучшается, т.к. описания разных объектов «удаляются» друг от друга. Это, с одной стороны, подтверждает общепризнанный факт повышения качества распознавания с увеличением размерности системы признаков. Но в то же время при полном наборе из 64 ФУ показатель качества становится достаточно низким (значение критерия (2) для обеих баз не превышает величины 0,06), т.е. на отрезке числа ФУ от 16 до 64 зависимость исследуемого критерия (2) от числа используемых ФУ имеет максимум. Это можно объяснить тем обстоятельством, что один и тот же набор характерных признаков (векторов) поочередно распределяется по числу ФУ, равному 3, 5, 8, 16, 32, 48, 64. Понятно, что при большом числе ФУ информация как бы «размывается» по всему пространству ФУ и становится малозначащей для отдельных элементов спектра, а значит более схожей между разными описаниями. В то же время для предельных значений параметра q наблюдается их сосредоточение на крайних слева ФУ, что тоже ухудшает качество. Это подтверждается видом гистограмм рис. 2 и значениями табл. 2.

Ясно, что в общем случае число ФУ, соответствующее максимуму критерия (2), может быть различным для разных баз изображений. При этом, в свою очередь, время распознавания с увеличением числа ФУ прямо пропорционально возрастает, поэтому количество ФУ надо брать поменьше, если нужно обеспечить высокое быстродействие. В принципе, можно считать, что зависимость времени распознавания от числа используемых ФУ в обсуждаемом методе носит линейный характер.

На рис. 3 приведены зависимости значения критерия (2) от числа используемых ФУ. Полученные кривые дают возможность согласовать значение критериев быстродействия и достоверности, выбирая необходимое число ФУ, обеспечивающее удовлетворение необходимым требованиям. Как видим, для базы насекомых при всех значениях числа ФУ кривая проходит выше, что говорит о худшей различимости описаний для этой базы в целом.

Отдельные результаты вычислений для исследуемых систем признаков и агрегированного критерия (4) приведены в табл. 3.

В целом зависимость критерия (4) от числа применяемых ФУ носит более плавный характер, чем для критерия (2), однако, закономерности роста и наличия максимума подтверждаются. Учитывая

незначительные изменения критерия (4) в зависимости от числа ФУ, делаем вывод, что этот критерий значительно менее чувствителен к изменению величины q , чем критерий (2).

Таблица 3

Значения критерия (4)

База изображений	Системы признаков				
	3	5	6	7	8
Животные	0,551	0,591	0,676	0,697	0,698
Насекомые	0,610	0,640	0,742	0,769	0,740

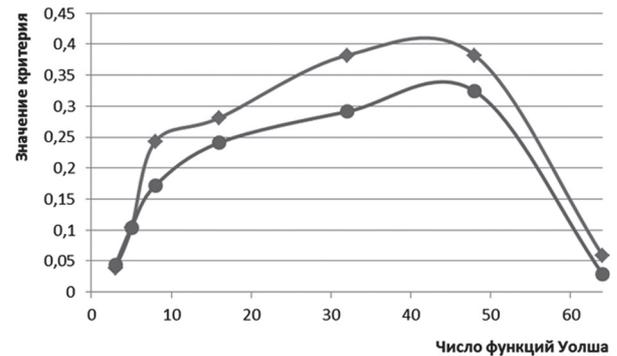


Рис. 3. Зависимость значений критерия (2) от числа ФУ для разных баз изображений (квадратик – насекомые, кружок – животные)

Выводы

Матрица расстояний, вычисленная для фиксированной базы изображений, системы признаков и метода распознавания, может быть источником для построения серии критериев, которые позволяют определить качество распознавания на предварительном этапе при оценивании свойств и характеристик разрабатываемых методов. Рассмотренные в работе критерии (2), (4) являются конкретными вариантами обобщенного критерия (5) и позволяют выбрать параметры метода распознавания, при которых обеспечивается наиболее высокое качество его применения для распознавания в конкретных базах изображений. Другими вариантами критерия может быть подсчет числа элементов матрицы в строке (столбце), не превышающих заданный порог. Количество таких элементов можно также использовать как критерий.

Впервые показано, что матрица расстояний в фиксированной системе признаков для базы изображений представляет эффективный аппарат для построения новых критериев при оценивании качества распознавания на предварительном этапе выбора характеристик метода. Предложены и изучены варианты и свойства общего и конкретных критериев для оценивания качества.

Практически важным результатом есть вычисление конкретных значений критериев для сформированных баз изображений и построение зависимости значений критерия от числа используемых ФУ, что говорит о целесообразности

применения разработанных подходов в прикладных задачах компьютерного зрения.

Перспективой исследования есть непосредственное вычисление вероятности правильного распознавания на основе выбора параметров метода в соответствии с показателями разработанных критериев в целях подтверждения их эффективности и применимости в прикладных системах распознавания визуальной информации.

Список литературы: 1. *Гороховатский В. А.* Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек / В. А. Гороховатский, Е. П. Путятин // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 75–85. 2. *Власенко Н. В.* Построение информативных компактных описаний и классификация объектов путем представления в ортогональном базисе / Н.В. Власенко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2013. – № 1 (80). – С. 93–98. 3. *Маннинг К.Д.* Введение в информационный поиск / К. Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 528 с. 4. *Шкловец А.В.* Определение расстояний между точками на кусочно-гладких картах Кохонена / А. В. Шкловец, Н. Г. Аксак // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2012. – 1 (78). – С. 63–67. 5. *Bay H.* Surf: Speeded up robust features / Н. Bay, Т. Tuytelaars, L. Van

Gool // European Conference on Computer Vision. – 2006. – P. 404–417.

Поступила в редколлегию 23.01.2014

УДК 004.932.2:004.93'1

Оцінювання ефективності систем ознак у методах розпізнавання зображень на основі структурного аналізу / Н.В. Власенко, В.О. Гороховатський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 38–42.

В роботі запропоновані критерії оцінювання якості розпізнавання на основі обчислення матриці відстаней для обраного методу та системи ознак. Представлені результати обчислень значень критеріїв для конкретних методів та баз зображень.

Табл. 3. Іл. 3. Бібліогр.: 5 найм.

UDC 004.932.2:004.93'1

Evaluation of feature-based systems effectiveness in based on structure analysis image recognition methods / N.V. Vlasenko, V.A. Gorohovatsky // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 38-42.

This paper presents evaluation quality criteria for image recognition based on distance matrix computation for selected method and features system. In this work are shown criteria's values computation results for specific methods and image databases.

Fig. 3. Tab. 3. Ref.: 5 items.

УДК 516.6

С. И. Богучарский¹, С. В. Машталир²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mashtalir_s@kture.kharkov.ua;

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОЛЛЕКЦИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОЛЬШИХ БАЗАХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В данной работе рассмотрены методы кластеризации больших объемов данных и предлагается модификация подхода кластеризации мультимедийных объектов с возмущениями, основанного на плотности. Проведен анализ существующего метода DENCLUE, и введена матричная функция влияния, что позволяет эффективно использовать данный подход при анализе многомерных объектов, в частности, коллекций изображений, видео и мультимедиа данных. Введенная матричная форма позволяет повысить быстродействие кластеризации за счет отсутствия векторизации-девекторизации исходных данных.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ, БАЗЫ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, DENCLUE, ФУНКЦИЯ ВЛИЯНИЯ

Введение

Задача кластеризации массивов многомерных наблюдений часто встречается во множестве реальных приложений, а для ее решения на сегодня разработано большое количество методов, процедур, алгоритмов [1-6] от сугубо эмпирических до строго математических. В наиболее общей постановке предполагается, что имеется группа из N объектов, описываемых n -мерными векторами-признаками $x(k) \in R^n$, $k = 1, 2, \dots, N$, которую необходимо разбить на p кластеров, при этом это число может быть заранее неизвестно, т.е. $1 < p < N$. Понятно, что столь большое количество возможных подходов к решению задачи связано с тем, что принципиально не существует универсального алгоритма, пригодного для эффективного использования во всех ситуациях, возникающих в реальных задачах.

Особую группу методов кластеризации образуют алгоритмы, предназначенные для обработки информации, хранящейся в сверхбольших базах данных (VLDB) [2, 5], где на первый план выходят быстродействие и простота численной реализации. В данной ситуации в качестве достаточно эффективных показали себя методы кластеризации, основанные на плотности распределения данных, при этом применяемое здесь понятие плотности по смыслу близко к плотности распределения, используемой в теории вероятностей и математической статистике. Именно методы, основанные на плотности, позволяют формировать кластеры произвольной формы в условиях, когда обрабатываемые данные искажены возмущениями, а само число кластеров p заранее неизвестно. В рамках «плотностного» подхода под кластерами понимают области в n -мерном пространстве признаков с высоким уровнем концентрации данных. Эти области разделены участками с низкой плотностью и именно здесь располагаются возмущения. Таким образом, алгоритмы, основанные на понятии плотности, в процессе обработки данных формируют области произвольной формы, где данные наиболее густо сконцентрированы.

Таким образом, целью данной работы является анализ методов кластеризации на основе плотностей и разработка модификации метода кластеризации.

1. Существующие методы кластеризация сверхбольших объемов данных

Наиболее распространенным методом из этого класса является DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), отличающийся вычислительной простотой и устойчивостью к возмущениям [7]. В основе метода лежит ряд понятий и определений, основными из которых являются внутренние и граничные точки, D-досягаемость (Density reachability) и D-связность (D-connectedness), порог ($\epsilon = Eps$) и минимальное количество наблюдений в кластере (MinPts). При этом полагается, что произвольная точка $x(t)$ непосредственно достижима из любой точки $x(q)$, если она удалена в смысле принятой метрики (традиционно евклидовой) на расстояние, не превышающее заданного априори порога ϵ . Именно $\epsilon = Eps$ является основным исходным параметром алгоритма, задаваемым пользователем, при этом подразумевается, что этот пользователь является квалифицированным специалистом в конкретной предметной области, в рассматриваемом нами случае – специалистом в области видеобработки и компьютерных наук. На основании выбранного порога формируется ϵ -окрестность точки $x(q)$, которую образуют все точки x , удовлетворяющие неравенству

$$\|x - x(q)\| < \epsilon.$$

Что же касается минимального количества наблюдений в кластере MinPts, то это также параметр, выбираемый экспериментально, обычно $N > MinPts \geq N + 1$, при этом утверждается, что если в ϵ -окрестности точки $x(q)$ содержится не менее MinPts точек, то $x(k)$ и $x(q)$ относятся к одному кластеру.

Если рассмотреть понятие D-досягаемости, то точка $x(k)$ является D-досягаемой из $x(q)$, если

может быть сформирована «цепочка» наблюдений $x(q), \dots, x(r), \dots, x(k)$ такая, что каждый ее элемент $x(r)$ непосредственно достижим своими соседями.

Важным фактом является то, что понятие D -достижимости не является симметричным. Если $x(k)$ лежит на границе кластера, то симметрия нарушается, т.е. эта точка может содержать меньше, чем MinPts точек в своей окрестности. Именно нахождением таких граничных точек и завершается формирование кластеров. Понятно, что в этом случае априорно предполагается, что формируемые кластеры не пересекаются. Все наблюдения, принадлежащие конкретному кластеру и имеющие не менее MinPts наблюдений в своей ε -окрестности, называются внутренними точками кластера. Описанная асимметрия порождает понятие D -связности, при этом точки $x(k)$ и $x(q)$ называются D -связными, если они обе достижимы из $x(r)$, при этом очевидно, что понятие D -связности – симметрично.

Опираясь на введенные понятия, можно определить кластер как множество D -связных точек, причем, что важно, такую формулировку можно распространить и на другие подходы к задаче кластеризации, где используется понятие метрики. Сам же процесс кластеризации может быть сведен к последовательности элементарных действий, которая, стартуя из произвольной точки, находит множество D -связных с ней данных. После того как все такие наблюдения найдены, процедура запускается вновь из произвольной прежде не проанализированной точки и находит все относящиеся к ней D -связные данные. Так происходит до исчерпания всех N наблюдений анализируемой группы объектов-образов. Множество всех объектов, не включенных ни в один кластер и содержащих менее, чем MinPts наблюдений в своей ε -окрестности, в рамках стандартного подхода рассматриваются как шумы, хотя может оказаться, что именно в этих точках содержится уникальная информация, которая должна быть тщательно проанализирована вне рамок DBSCAN.

Следует отметить, что метод DBSCAN в силу своей простоты и наглядности получил широкое распространение во множестве прикладных задач анализа данных, в том числе и для сегментации различного рода изображений, где в соответствие каждому пикселю ставится многомерный набор признаков, задаваемый в векторной форме. Понятно, что количество таких векторов в выборке может быть очень велико. Конечно, в рассмотрение могут быть введены некоторые дополнительные характеристики анализируемого изображения, однако, во всех случаях для успешного решения задачи квалификация пользователя должна быть достаточно высока. Именно это обстоятельство, а также низкий уровень формализации этого метода и чувствительность к выбору параметров алгоритма

породили целый ряд модификаций, лишенных некоторых недостатков прототипа.

На сегодня известен целый ряд модификаций, причем каждая новая из них стремилась минимизировать влияние субъективного фактора, связанного с каждым конкретным пользователем, и дополнительно формализовать базовую процедуру.

Одной из таких модификаций является DBCLASD (Distribution-Based Clustering of Large Spatial Databases) [8], с помощью которой также можно формировать кластеры произвольной формы из «зашумленных» данных. Основным достоинством DBCLASD является возможность обработки данных в последовательном (on line) режиме, при этом каждый вновь поступающий на обработку образ может быть отнесен к тому или иному кластеру на основе анализа распределений расстояний от анализируемого образа до каждого из кластеров, основанных на χ^2 -тесте. Данный метод обладает пониженной чувствительностью к выбору параметров Eps и MinPts , однако, в его основе лежит предположение, что данные в каждом кластере подчинены равномерному закону распределения, что далеко не всегда бывает в реальных задачах, особенно связанных с обработкой изображений.

Развитием DBSCAN также является алгоритм OPTICS (Ordering Points to Identify the Clustering Structure) [9], позволяющий решать задачи кластеризации в условиях, когда кластеры имеют не только различную форму, но и разную плотность распределения данных в каждом классе. OPTICS кроме основных понятий и определений, используемых в DBSCAN, вводит дополнительные характеристики для каждого наблюдения такие, как внутреннее расстояние (core distance) и расстояние достижимости (reachability distance). OPTICS структурно эквивалентен DBSCAN, обладает расширенными функциональными возможностями, однако с вычислительной точки зрения значительно сложнее и медленнее прототипа, что усложняет его использование в задачах, связанных с VLDB.

Интересным гибридом DBSCAN и популярного метода k -средних является Bridge [10], с помощью которого исходный массив данных сначала обрабатывается с помощью стандартного метода k -средних, а затем к каждой сформированной группе данных применяется DBSCAN, подавляющий шумы и восстанавливающий плотность распределения данных в каждом кластере. Понятно, что Bridge с вычислительной точки зрения сложнее, чем DBSCAN, однако в настоящее время он используется для решения ряда задач, связанных с VLDB [2].

2. Кластеризация на основе плотности

Наиболее формализованным и математически обоснованным алгоритмом, основанным на плотности, является DENCLUE (DENSity-based CLUstEring) [11], созданный для обработки

больших массивов мультимедийных данных, формируя кластеры произвольной формы при высоком уровне шумов. Данный метод основан на ряде предположений:

– влияние каждого вектора-образа на соседние наблюдения формально может быть описано с помощью некоторой функции, обычно ядерной, называемой функцией влияния, которая описывает взаимосвязь всех наблюдений в некоторой окрестности данного образа;

– общая плотность распределения данных в n -мерном пространстве признаков формально описывается как сумма функций влияния каждого наблюдения;

– кластеры определяются как окрестности аттракторов плотности (D-аттракторов), являющихся, по сути, локальными максимумами общей функции плотности распределения данных.

Для некоторой произвольной точки в пространстве признаков y ее влияние на образ x может быть описано с помощью функции влияния

$$f^y(x) = f(x, y),$$

при этом наиболее часто в качестве таких функций используется либо прямоугольная конструкция

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если } D(x, y) > \sigma; \\ 1, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

либо гауссиан

$$f(x, y) = \exp\left(-\frac{D^2(x, y)}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где σ – параметр ширины ядерной функции, $D(x, y)$ – расстояние, обычно евклидово, между точками x и y .

Тогда для множества наблюдений $X = \{x(1), x(2), x(k), \dots, x(N)\}$ общая функция плотности может быть представлена в виде

$$f^x(x) = \sum_{k=1}^N f(x, x(k)). \quad (3)$$

Функция (3) является суммой ядерных функций, характеризуется наличием множества локальных экстремумов-максимумов, именуемых D-аттракторами, каждый из которых представляет отдельный кластер и может быть определен с помощью тех или иных оптимизационных процедур. Здесь же заметим, что использование функции влияния (1) превращает DENCLUE в стандартный DBSCAN, а если $f(x, y)$ непрерывна и дифференцируема, как например (2), для нахождения локальных максимумов может быть использована стандартная градиентная оптимизация. При этом произвольная точка x притягивается к D-аттрактору x^* , если последовательность итераций

$$x^i = x^{i-1} + \eta \frac{\nabla f^x(x^{i-1})}{\|\nabla f^x(x^{i-1})\|}; i = 1, 2, \dots; x^0 = -x \quad (4)$$

сходится к x^* .

Если в качестве $f^x(x)$ используются соотношения (2), (3), то $\nabla f^x(x) = \sum_{k=1}^N (x(k) - x) f(x, x(k))$, а процедура (4) приобретает вид

$$x^i = x^{i-1} + \eta \frac{\sum_{k=1}^N (x(k) - x^{i-1}) f^{x^i}(x(k))}{\left\| \sum_{k=1}^N (x(k) - x^{i-1}) f^{x^i}(x(k)) \right\|}, \quad (5)$$

где η – параметр шага поиска.

Каждый из D-аттракторов характеризуется собственной функцией плотности

$$\hat{f}^{x^*}(x) = \sum_{x(k) \in \text{near } x^*} f(x, x(k)), \quad (6)$$

где $\text{near } x^* = \{x(k) : D(x^*, x(k)) \leq \sigma_{\text{near}}\}$, а ее экстремум определяет координаты центроида кластера.

Конечно, с вычислительной точки зрения DENCLUE сложнее любого из описанных выше алгоритмов, однако к его преимуществам следует отнести высокий уровень формализации, а также то, что он обобщает рассмотренные выше процедуры кластеризации, основанные на плотности.

3. DENCLUE в задачах кластеризации коллекций изображений

При решении задач кластеризации всегда предполагается, что каждое многомерное наблюдение-образ описывается n -мерным вектором $x(k)$, а весь процесс решения связан именно с векторными операциями. В ситуации, когда имеется большая коллекция изображений, подлежащих кластеризации, каждое двумерное изображение сначала должно быть подвергнуто векторизации, далее решается задача кластеризации, а ее результат подвергается девекторизации, переводящей векторное описание в матричную форму. Существенно упростить процесс кластеризации массивов можно, не переводя их в векторную форму, а непосредственно оперируя с матрицами. Таким образом, набором исходных образов является набор матриц $x(k) = \{x_{i_1 i_2}(k)\}$, $x_1 = 1, 2, \dots, m$; $x_2 = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, N$, $x(k) \in R^{m \times n}$. Далее, вводя вместо стандартной векторной евклидовой нормы ее сферический матричный аналог

$$D_S^2(x, y) = Sp(x - y)(x - y)^T,$$

можно ввести матричную функцию влияния

$$f_S(x, y) = \exp\left(-\frac{D_S^2(x, y)}{2\sigma^2}\right) = \exp\left(-\frac{Sp(x - y)(x - y)^T}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

и матричную функцию плотности

$$f_S^x(x) = \sum_{k=1}^N f_S(x, x(k)).$$

При этом произвольная $(m \times n)$ матрица-образ x притягивается к матричному D-аттрактору x^* , если последовательность итераций типа (4)

$$x^i = x^{i+1} + \eta \frac{\left\{ \frac{\partial f_S^x(x^{i-1})}{\partial x_{i_2}} \right\}}{\left(Sp \left\{ \frac{\partial f_S^x(x^{i-1})}{\partial x_{i_2}} \right\} \left\{ \frac{\partial f_S^x(x^{i-1})}{\partial x_{i_2}} \right\}^T \right)^{\frac{1}{2}}},$$

$$i = 1, 2, \dots; \quad x^0 = x \quad (8)$$

сходится к x^* . Здесь $\left\{ \frac{\partial f_S^x(x)}{\partial x_{i_2}} \right\}$ – $(m \times n)$ матрица, образованная производными $f_S^x(x)$ по компонентам матрицы x .

Если в качестве матричной функции используется выражение (7), алгоритм оптимизации (8) может быть переписан в простой форме

$$x^i = x^{i-1} + \eta \frac{\sum_{k=1}^N r(k, i-1)}{\left(Sp \left(\sum_{k=1}^N r(k, i-1) \left(\sum_{k=1}^N r(k, i-1) \right)^T \right)^{\frac{1}{2}} \right)},$$

где $r(k, i-1) = (x(k) - x^{i-1}) f_S(x^{i-1}, x(k))$. Отметим, что по сути это расширение (5) на матричный случай.

Использование вместо векторного описания его матричного аналога позволяет существенно повысить быстродействие процесса обработки информации и избежать ряда проблем, возникающих в задаче кластеризации данных, описываемых векторами высокой размерности, что в свою очередь позволяет проводить обработку не только баз данных изображений, но и решать задачи кластеризации видеоданных.

Выводы

В статье рассмотрен существующий метод кластеризации мультимедийных данных с высоким уровнем шумов. Введен матричный аналог метода кластеризации DENCLUE, предназначенный для обработки коллекций изображений, хранящихся в больших базах неструктурированных данных. Алгоритм достаточно прост в численной реализации и характеризуется повышенным быстродействием за счет отказа от реализации вспомогательных операций векторизации-девекторизации исходных изображений.

Список литературы: 1. *Han J., Kamber M.* Data Mining: Concepts and Techniques. – 2-nd ed. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 2006. – 800 p. 2. *Gan G., Ma C., Wu J.* Data Clustering: Theory, Algorithms, and Applications. – Philadelphia: SIAM, 2007. – 466 p. 3. *Abonyi J., Feil B.* Cluster Analysis for Data Mining and System Identification. – Basel: Birkhuser,

2007. – 303 p. 4. *Olson D.L., Dursun D.* Advanced Data Mining Techniques. – Berlin: Springer, 2008. – 180 p. 5. *Xu R., Wunsch D.C.* Clustering. – Hoboken: John Wiley&Sons, 2008. – 358 p. 6. *Kohonen T.* Self-Organizing Maps. – 1-st ed. – Berlin: Springer, 1995. – 501 p. 7. *Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X.* A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial database with noise // Proc. Int. Conf. on Knowledge Discovery in Databases and Data Mining. – Portland, Oregon: AAAIO Press, 1996. – P. 226-331. 8. *Xu X., Ester M., Kriegel H., Sander J.* A distribution-based clustering algorithm for mining in large spatial databases // Proc. 14-th Int. Conf. in Data Clustering “ICDE’98” – Orlando FLA: IEEE Computer Society, 1998 – P. 324-331. 9. *Ankerst M., Breunig M., Krilgel H., Sander J.* OPTICS: Ordering points to identify the clustering structure // Proc. 1999 ACM-SIGMOD Int. Conf. Management of Data. – Philadelphia, PA, 1999 – P. 49-60. 10. *Dash M.* “1+1>2”: Merging distance and density based clustering // Proc. Int. Conf. on Database systems for Advanced Applications. – Hong Kong. AEEE Computer Society, 2001. – P. 30-33. 11. *Hu H., Ester M., Sander A.* Distribution-based clustering algorithm for mining in large spatial databases // Proc. 14-th Int. Conf. on Data Clustering “ICDE’98”. – Orlando: FLA AEEE Computer Society, 1998. – P. 324-331.

Поступила в редколлегию 30.01.2014

УДК 516.6

Кластеризация коллекций изображений в великих базах данных на базе рекуррентной модели оптимизации / С.И. Богучарский, С.В. Машталир // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 43–46.

Розглянуто підходи до кластеризації мультимедійних об’єктів зі збуреннями, які базуються на щільностях. Проведено модифікацію існуючого методу DENCLUE, яка базується на введенні матричної функції впливу, що дозволяє ефективно використовувати даний підхід при аналізі багатовимірних об’єктів, зокрема, колекцій зображень, відео та мультимедійних. Введена матрична форма дозволяє додати в швидкодії кластеризації за рахунок відсутності векторизації-девекторизації вихідних даних.

Бібліогр.: 11 найм.

UDC 516.6

Image collections clustering in large databases based on recursive optimization / S.I. Bogucharskiy, S.V. Mashtalir // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 43–46.

Approaches to multimedia objects with noises clustering based on density are describes. DENCLUE modification, based on the introduce the matrix form influence function, which allows efficient use of this approach in the analysis of multi-dimensional objects, in particular, image collections, video and multimedia data. Introduced matrix form can improve performance of clustering due to the lack of source data vectorization-devectorization.

Refs.: 11 titles.

УДК 681.513



О. Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

СИНТЕЗ МОДЕЛИ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА НА СЕТИ ПЕТРИ

В качестве средств моделирования элементов *вычислительной техники* (ВТ) получили распространение *клеточные автоматы* (КА) и *сети Петри* (СП). Смена состояний разметки СП подобна чередованию активности и релаксации нейронов человеческого мозга; смена поколений КА – реконфигурации структур мозга (прототипа ВТ). Этими аналогиями определяется перспективность синтеза средств моделирования на основе композиции принципов КА и СП. В качестве промежуточного этапа рассмотрено моделирование КА средствами СП.

УСИЛИТЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА, КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ, СЕТИ ПЕТРИ**Введение**

Развитие средств *вычислительной техники* (ВТ) как *усилителей человеческого интеллекта* (УЧИ) [1] проявляется в создании с их использованием прикладных имитационных моделей различных аспектов *окружающего мира* (ОМ), которые в конечном счёте (в крупном временном масштабе) способствуют повышению вероятности выживания *Homo sapiens* как вида [1]. Текущий фрагмент глобальной истории в аспекте моделирования характеризуется широким системным подходом с использованием абстрактных представлений и применением различных *формально-описательных аппаратов* (ФОА) [2, 3], в частности, *клеточных автоматов* (КА) [4] и *сетей Петри* (СП) [5]. Применительно к моделированию элементов самих средств ВТ широкое распространение КА и СП обусловлено тем, что смена состояний разметки СП подобна чередованию активности и релаксации нейронов человеческого мозга; смена поколений КА напоминает реконфигурацию зон активности структур мозга (прототипа ВТ), в частности, при проведении мысленных вычислительных операций. Этими аналогиями определяется перспективность синтеза средств моделирования на основе композиции принципов КА и СП. В настоящей работе в качестве промежуточного этапа рассмотрено моделирование КА средствами СП.

1. Ограниченность человеческого интеллекта в задачах моделирования окружающего мира

Моделирование есть базовая составляющая человеческой деятельности. Процесс познания ОМ идёт путём последовательного создания усложняющегося ряда моделей. Первоначально единственным доступным инструментом моделирования был *человеческий интеллект* (ЧИ). По мере наработки типовых приёмов моделирования и «парка моделей», а также по мере проявления и уяснения ограничений ЧИ на различных этапах истории разрабатывались различные варианты УЧИ [1], упрощающие определённые аспекты моделирования. На современном этапе развития актуальными (наиболее активно развивающимися)

УЧИ являются средства ВТ. Базовым прототипом средств ВТ был и остаётся человеческий мозг [6] – физический носитель ЧИ. Вскрытие механизмов функционирования ЧИ само по себе предполагает алгоритмизацию и построение моделей [7]. На этом пути по мере развития ВТ реализован переход от простых чисто вычислительных функций к более сложным и интеллектуально-содержательным решениям (нечёткая логика, параллельные и распределённые вычисления, искусственные нейронные сети, эволюционным алгоритмам и др.). При этом в качестве ФОА моделирования получили распространение КА [5] и СП [6].

Человек живёт в контакте (в окружении и во взаимодействии) с некомфортным ОМ, который является центром его внимания и основным объектом познания. Отслеживание изменений и корректировка (оптимизация) взаимодействий с ОМ посредством моделирования объектов ОМ обеспечивают выживание человека как биологического вида. Познание как процесс есть последовательная смена усложняющихся моделей. Моделирование (создание моделей) происходит по различным аспектам ОМ и на различных уровнях в зависимости от характера конкретных решаемых задач взаимодействия с ОМ.

Ограниченность ЧИ определяется «магическим числом» 7 ± 2 [8] ячеек оперативной памяти. В качестве следствия (интерпретации) этого закона можно рассматривать преимущественное использование при построении математических моделей ОМ *исключительно* ограниченного *малого* числа параметров. В ОМ усматриваются (интуитивно улавливаются) закономерности, которые затем описываются (взаимоувязываются) в виде систем уравнений с использованием *малого* числа обобщённых параметров. На этом принципе по существу построена и этой цели служит вся классическая математика, являющаяся ФОА классических (от Аристотеля и И. Ньютона до А. Эйнштейна и Н. Бора) физических моделей ОМ. В них изначально по умолчанию предполагалось, что все проблемы должны иметь аналитические решения, остаётся только их найти. Позднее прояснилось

типичное ограничение: аналитические решения бывают в основном только для функций *простого* (не слишком сложного) вида. В результате, в сложных вычислительных случаях в ход пошли приближённые методы вычислений, но, по-прежнему, применительно к *малому* числу параметров. В *малом* числе параметров имеется своя целесообразность. ЧИ ограничен по своей «наблюдательной способности» (возможности одновременно удерживать в поле зрения), т.е. по своему ресурсу обработки информации. Недопустимой экстраполяцией является, однако, распространение (а тем более догматизация) соответствующих модельных представлений на реальную картину ОМ в целом. В подобной «интеллектуальной ловушке» оказалась, в частности, средневековая схоластика с вопросом «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» [9]. Философским отражением (проекцией) этого теологического вопроса является проблема познаваемости ОМ. В теологии для «выхода» из соответствующего тупика и по настоящее время используется довольно туманный тезис о «неисповедимости путей Господних». С появлением Ньютонской модели ОМ стал вычислимым, т.е. «предопределённым». Затем, с появлением квантово-механической модели ОМ снова обрёл неопределённость (вероятностный характер), т.е. как бы «свободу воли». Как известно, Эйнштейн остался не согласен с окончательностью квантово-механической интерпретации, считая её ограничением существующего ФОА.

2. Усилители человеческого интеллекта

Ситуация качественно меняется по мере совершенствования УЧИ. С их использованием существенно наращиваются вычислительные ресурсы и преодолевается закон 7 ± 2 . В результате, в описательном плане на смену ограниченному *малому* числу параметров в моделях приходят расширенные множества параметров. Также с появлением средств ВТ получили развитие системные представления и парадигмы распределённых и параллельных вычислений. Как следствие появились ФОА параллельного и распределённого функционирования систем и процессов. К таковым относятся, в частности, КА и СП. Параллельность и распределённость предполагают использование *большого* числа объектов и параметров, обрабатываемых независимо. Вместо *малого* числа параметров малыми в КА и СП остаются наборы правил, в соответствии с которыми независимо работают (видоизменяются, эволюционируют) *большие* наборы объектов и параметров.

Попутно следует отметить, что помянутая выше «неувязка» со схоластическим вопросом «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» становится благополучно (по крайней мере

в принципе) разрешимой в системах с *большими* наборами параметров без привлечения гипотезы о наличии Творца. Как отмечалось, ОМ может быть «божественно предопределённым», т.е. детерминированным, т.е. вычислимым по Ньютону, по Эйнштейну или по какой-либо другой *малопараметрической* детерминированной модели. Но этому мешает квантовая неопределённость, вследствие чего появляется вероятностная (тоже *малопараметрическая*) модель, т.е. «свобода воли». Данных два варианта являются альтернативными, и других альтернатив не наблюдается, только в случае, если ограничиваться *малопараметрическими* моделями. Средневековая схоластика и классическая математика (зародившаяся тогда же) служили образцами и основаниями друг для друга (стимулировали и взаимно дополняли развитие друг друга, поскольку реально они создавались малым ограниченным кругом одних и тех же умных образованных людей – учёных того времени), поскольку обе базировались на тогдашних ограниченных (*малопараметрических*) возможностях ЧИ, соотносимых с законом 7 ± 2 . С переходом к *большому* числу параметров (со снятием ограничения 7 ± 2) появляется третья альтернатива. *Многopараметрический* ОМ может быть детерминированным (вычислимым), но для этого требуется наблюдаемость всех параметров и очень большие ресурсы ВТ. Т.е. поведение реального ОМ может быть «предсказано наперёд», но для этого требуется гиперкомпьютер, позволяющий учитывать все параметры каждой из мельчайших частиц ОМ. При этом его работа не должна искажать работу ОМ. Если не вводить умозрительных представлений о некотором ненаблюдаемом гиперпространстве, в котором мог бы размещаться гиперкомпьютер, то остаётся единственная возможность его реализации (реализуемости или реализованности). Этой возможностью является сам ОМ. Подобная космологическая концепция ОМ – *цифровая физика* [14] – сформулирована и развивается в нескольких вариантах. Согласно одному из вариантов (не самому радикальному) элементами гиперкомпьютера являются сами объекты ОМ, поэтому гиперкомпьютер (он же ОМ) является параллельным и распределённым, и в него уже загружена модель ОМ. В каждом из его элементов известны все соответствующие необходимые значения параметров. Там же имеются программы, реализующие необходимые законы взаимодействия между элементами. Особенностью этого гиперкомпьютера является то, что он же сам является системой, осуществляющей регулирование процессов, по которым взаимодействуют его элементы. При этом там, в его «программной среде», никакие другие средства (гиперсредства) ВТ, кроме него самого, влияния на его работу не оказывают. Можно ли и следует ли называть этот

гиперкомпьютер Богом – вопрос чисто терминологический. Но что неоспоримо: ни одна церковь и ни один религиозный культ, поддерживаемые представителями вида *Homo sapiens*, не имеют исключительного (эксклюзивного, приоритетного) выхода на терминал этого гиперкомпьютера ввиду наличия чрезвычайно большого числа ненаблюдаемых извне (точнее, изнутри ОМ) параметров. Поэтому любая попытка каким-либо образом «приобщится к Богу» (т.е. попытаться «поставить свою программу» на этом гиперкомпьютере) по существу неотличима от упомянутого выше моделирования ОМ. Таким образом, ОМ может рассматриваться как детерминированный, но настолько сложный и содержащий так много ненаблюдаемых параметров, что только он сам может *однозначно* и надёжно предсказать и тотчас же реализовать своё поведение. Поэтому, с учётом перехода к *многопараметрическим* моделям ОМ, вопрос «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» утрачивает корректность постановки.

3. Сопоставление клеточных автоматов и сетей Петри

Представляет интерес рассмотрение принципов моделирования одной информационной (символьной, не материальной) модельной среды средствами другой информационной модельной среды. Каждая из модельных сред является ФОА, т.е. предназначена для упрощения (облегчения, повышения эффективности выполнения) определённых человеческих мыслительных операций, т.е. в известном смысле может рассматриваться как программный (концептуальный, алгоритмический) УЧИ. Рассмотрение целесообразно провести не для обнаружения, объяснения или предсказания каких-либо явлений в самих этих ФОА (КА и СП на том уровне сложности, который затрагивается – достаточно изучены [4, 5]), а с целью выработки парадигм (принципов) будущего возможного (перспективного) объединения этих ФОА и синтеза на их основе более эффективного ФОА. Он, возможно, позволил бы более наглядно представить разнообразные функциональные особенности человеческого мышления и реализующие их конструкции мозговых структур. Подобное рассмотрение само по себе содержит элементы моделирования, поэтому общность подобного рассмотрения открывает дальнейшие перспективы возможного развития. Кратко опишем и сопоставим ФОА КА и СП.

Клеточный автомат [4] представляет собой упорядоченную структуру из регулярно расположенных клеток (ячеек) $S: \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_r, \dots, c_h\}$. Каждая из клеток c_r может находиться в одном из конечного числа состояний $Q: \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_k, \dots, q_s\}$. Каждое фиксированное поколение (шаг, этап) f_i работы

КА ретроспективно может соотноситься с фиксированным моментом времени. При переходе от текущего этапа f_i к следующему $f_{(i+1)}$, т.е. при «смене поколений» ($f_i \rightarrow f_{(i+1)}$), изменение состояния клетки определяется композицией состояний окружающих её (соседствующих с ней) клеток. В литературе описаны различные варианты КА в зависимости от размерности и топологии пространства, функции соседства (числа соседей в окружении), числа s допустимых состояний клетки, закона композиции клеток, наличия внутренней памяти клеток и т.д. В представленной далее модели в качестве объекта моделирования рассмотрен *однородный бинарный планарный* (плоский) КА с *тетрагональной* симметрией и композицией ячеек, подобной принятой в известной игре «Жизнь» Дж. Конвея. *Однородность* есть «одинаковость» – единообразие всех клеток по расположению и по числу допустимых состояний Q и правилам перехода. *Бинарность* означает, что множество состояний клетки состоит из двух элементов: $Q: \{0, 1\}$. В клетке могут находиться «0» или «1», которые интерпретируются как «погибшая» и «живая». *Планарность* означает, что клетки упорядочены в двумерном пространстве. Чтобы избежать двумерной (двухиндексной) индексации клеток КА, полагаем, что размер поля a строк на b столбцов, т.е. $a \times b = h$ и $b = h / a$. При этом считаем, что клетки пронумерованы по строкам, слева направо и сверху вниз. Таким образом, в одномерной системе записи c_r обозначает $c_{(r-[r/b]*b), ([r/b]+1)}$ или $c_{(r-[r*a/h]*(h/a), ([r*a/h]+1))}$, где квадратные скобки обозначают операцию взятия целой части от деления. *Тетрагональность* – тип симметрии в расположении клеток и определении соседства. Окружением рассматриваемой прямоугольной клетки c_r являются 4 соседствующие с ней клетки $c_{r-1}, c_{r+1}, c_{r-a}$ и c_{r+a} , расположенные по её сторонам. Топологические особенности плоскости (упорядочение краёв поля КА) не рассматриваются, поскольку в модели воспроизведена работа единичной клетки КА. Т.е. двумерное поле в представленной СП-модели может быть по-разному замкнуто на краях. Характер замыкания – есть конкретизация модели.

Сеть Петри [5] есть *двудольный ориентированный* граф, дополненный системой правил смены состояний вершин. *Двудольность* означает разбиение множества вершин на два непересекающихся подмножества: *места* (places) $P: \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ и *переходы* (transitions) $T: \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_j, \dots, t_m\}$. *Ориентированность* предполагает направленность (указание направления) рёбер графа. *Двудольность* определяет запрет на связи между двумя *местами* или двумя *переходами*. Т.о. в СП разрешены два вида связей (направленных рёбер графа): из *мест* в *переходы* ($p_i \rightarrow t_j$) и из *переходов* в *места* ($t_j \rightarrow p_i$). *Места* и *переходы* функционально и

интерпретационно различны, что определяется как разметка *мест* и правила смены разметки посредством срабатывания («зарядки» и «разрядки») *переходов*. Разметка СП определяется совокупностью *меток*, размещённых в некоторых из *мест*. *Метки* являются носителями состояния. Каждая из *меток* может находиться в одном из конечного числа состояний $Q: \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_k, \dots, q_s\}$, включая нулевое состояние – отсутствие *метки*. Состояние *мест* определяется разметкой – совокупностью состояний размещённых в них *меток*. *Места* являются носителями разметки СП на каждом фиксированном этапе f_i работы. *Переходы* реализуют логику смены разметки ($f_i \rightarrow f_{(i+1)}$) – преобразование разметки из текущего этапа f_i в следующий $f_{(i+1)}$. Таким образом, множество *мест* СП позволяет наблюдать текущие (последовательно сменяющиеся) этапы работы СП, а множество *переходов* реализует динамику процесса – аппарат смены состояний *мест*. Имеются разнообразные варианты и подвиды СП в зависимости от структурной организации и особенностей работы (правил смены разметки) [4]. В литературе описаны, в частности, «цветные» и нечёткие СП, с использованием которых *метки* посредством многообразия своих состояний Q переносят в СП-моделях некоторую дополнительную информацию, обрабатываемую в *переходах*. В представленной далее модели использована простая *бинарная безопасная СП с приоритетами*. *Бинарность* означает, что множество состояний *метки* – два элемента: $Q: \{0, 1\}$, которые интерпретируются как «метка отсутствует» и «метка имеется» соответственно. *Безопасность* (1-безопасность) предполагает, что в процессе функционирования СП не возникает ситуаций, когда разметка какого-либо *места* превышает единицу. *Приоритетность* есть введение фиксированного (предопределённого) порядка проверки срабатывания *переходов* СП.

Сопоставление КА и СП правомочно, поскольку оба они являются *формально-описательными аппаратами* (ФОА) дискретных распределённых асинхронных систем. Общими аспектами (качествами) у КА и СП как ФОА являются, в частности, дискретность, допустимость бинарного представления ключевой информации о состояниях, этапность (шаговость) работы, смена состояний, соотнесённость с временными представлениями, односторонность и необратимость смены состояний (невозможность восстановить прежнее состояние по текущему), реализация распределённости и асинхронности в работе модели. Более обобщённо – КА и СП совпадают по области предназначения (использования) и реализуемости (в масштабах, представляющих прикладную ценность) исключительно с использованием средств ВТ.

Основные различия между КА и СП проявляются в структурной упорядоченности и соотнесении

с пространственными представлениями. В КА, в отличие от СП, имеется пространственный аспект, но динамика и логика работы по смене этапов (поколений) – не визуализируется (реализуется в свёрнутом виде, как алгоритм). В СП, в отличие от КА, – напротив: динамика смены поколений топологически прослеживается (непосредственно наблюдается), как срабатывание *переходов*, но отсутствуют пространственные представления (пространственное соподчинение), сопутствующие смене состояний объектов. Если рассматривать КА и СП как языки описания процессов, происходящих в системах, то можно сказать, что указанные различия, в известном смысле, лежат «на метафорическом плане» (как редукция языка описания мыслительного процесса). Различия связаны с изначально разными назначениями этих двух ФОА. СП отражает структуру (совокупность связей) системы и движение в ней информационных потоков. КА изображает поведение функционирующей системы как единого наблюдаемого целого, безотносительно (т.е. без непосредственного визуализирования) к информационным процессам, которые ею движут. С учётом указанных различий лишён *содержательного* смысла вопрос о формальной сводимости СП к КА или КА к СП; в связи с чем представленную далее модель нецелесообразно интерпретировать как демонстрацию сводимости определённого класса КА к определённому виду СП. С учётом указанных различий допустима (целесообразна) постановка вопроса о синтезе единой ФОА на основе КА- и СА-описаний.

Особенностью СП является реализация отдельно двух описательных сущностей системы: состояния в определённый момент времени и перехода из одного состояния в другое. Существенно, что при этом в модели может быть реализован параллельный и независимый характер работы отдельных частей системы, а также асинхронность – отсутствие централизованного управления и причинно-следственных связей. Важная черта КА – отражение в модели общей картины пространственной распределённости реализации системы. При этом процесс смены состояний (работа механизма, реализующего переход системы в новое состояние) свёрнут, не отражается в виде визуальной структуры. В связи с этой взаимной дополнительностью КА и СП представляет интерес синтез этих двух ФОА в нечто единое – аппарат, который объединял бы пространственные представления подобно КА и визуализацию (детализацию) процесса смены фаз, подобно СП.

Моделирование КА средствами СП, как этап синтеза единого ФОА, целесообразно проводить с учётом принципов автономности клеток и масштабируемости. Под *автономностью клеток* подразумевается, что модель одной (каждой) клетки КА

реализуется так, чтобы клетка содержала в себе всю логику работы КА. *Масштабируемость* – есть возможность реализации КА произвольного заданного размера сборкой из однотипных клеток. Клетка должна учитывать и реализовывать подключения к клеткам – соседям с возможностью создания различных уровней соседства и различных топологий поверхностей, на которых размещены (в которых упорядочены) соседствующие клетки.

Таковы особенности и основная направленность, в рамках которых синтезирована модель КА на СП, частный вариант которой представлен на рис. 1.

4. Описание модели

Как отмечалось, представлена модель однородного бинарного планарного КА с тетрагональной симметрией, выполненная средствами бинарной безопасной СП с приоритетами. В КА имеется поле из $a \times b = h$ клеток, каждая из которых c_r может находиться в одном из состояний (0, 1). Поле КА, не являющееся частью СП-модели, условно показано на рис. 1 в виде слоя (0). Собственно модель представлена в виде фрагмента СП, разнесённого для наглядности по четырём слоям, обозначенным на рисунке как (1), (2), (3), (4). В 1-м и 3-м слоях расположены *места*, во 2-м и 4-м – *переходы*. *Места* 1-го слоя интерпретационно соотносятся с ячейками моделируемого КА (слой (0)). Т.е. места 1-го слоя могут рассматриваться как биективное отображение $c_r \leftrightarrow p_{1\{i\}}$ поля КА.

Введены следующие обозначения. Каждая клетка КА моделируется клеткой СП-модели – типовым единообразным 4-слойным фрагментом СП, который условно выделен на рис. 1 жирными линиями. Этот типовой фрагмент h -кратно повторяется в СП-модели КА с соответствующими взаимными (межфрагментными) соединениями. В связи с этим применена двухэлементная (не двумерная) «ассоциативная» индексация *мест* и *переходов* СП. Первый элемент в индексе (цифра перед фигурными скобками) обозначает номер места или перехода в типовом фрагменте СП (в клетке СП-модели). Второй элемент (в фигурных скобках) есть номер клетки КА в одномерной системе записи (рассмотренной выше).

Переходы 2-го и *места* 3-го слоя реализуют функцию соседства. Как отмечалось, r -я клетка КА в рассматриваемом тетрагональном варианте имеет 4 соседей. В 1-м слое представлены соответствующие им образы клеток КА $c_{r-1}, c_{r+1}, c_{r-a}$ и c_{r+a} , – *места* $p_{1\{r-1\}}, p_{1\{r+1\}}, p_{1\{r-a\}}, p_{1\{r+a\}}$. *Переходы* 2-го слоя передают (размножают) информацию о состоянии данной клетки всем соседствующим (определённым в качестве соседей) клеткам. *Места* 3-го слоя – есть «образы соседей», сформированные индивидуально для каждой клетки. Они показаны

в тонких линиях группы мест для соседствующих ячеек СП-модели. *Места* $p_{3\{r-1\}}, p_{3\{r-1\}}, p_{3\{r+1\}}, p_{3\{r-a\}}, p_{3\{r+a\}}$ есть проекции *мест* $p_{1\{r-1\}}, p_{1\{r-1\}}, p_{1\{r+1\}}, p_{1\{r-a\}}, p_{1\{r+a\}}$. В них поступают метки из основных *мест* $p_{1\{r-1\}}, p_{1\{r-1\}}, p_{1\{r+1\}}, p_{1\{r-a\}}, p_{1\{r+a\}}$. На рис. 1, для сохранения общей наглядности, в 3-м слое обозначения мест опущены.

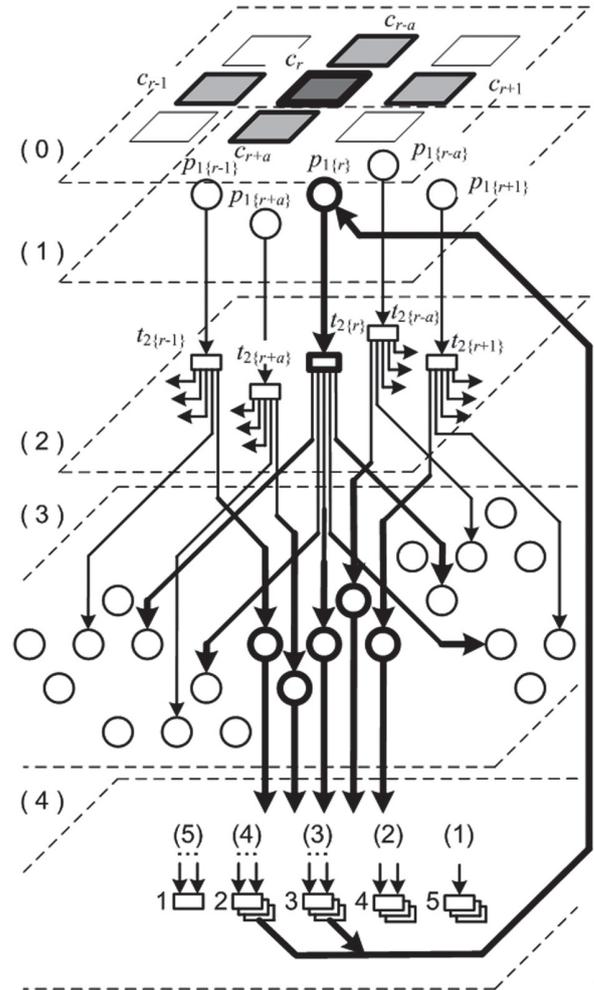


Рис. 1. Модель клеточного автомата на сети Петри

Переходы 4-го слоя есть «аналитический аппарат» модели, реализующий правила принятия решения относительно статуса («погибший» – «живой») клетки моделируемого КА в следующем цикле работы (поколении). *Переходы* 4-го слоя представлены в виде групп, обозначенных (1), (2), (3), (4), (5). *Переходы* i -той группы имеют по i входов от разных комбинаций по i мест из соответствующей группы мест 3-го слоя (выделена жирным). Для сохранения общей наглядности, на рис. 1 опущены связи между местами 3-го слоя и переходами 4-го слоя. Набором переходов 4-го слоя, подключённых к группе мест 3-го слоя полностью перекрываются все возможные варианты комбинаций «погибших» – «живых» клеток в рассматриваемой группе. Как отмечалось, СП является приоритетной. Приоритетность опроса переходов 4-го уровня обозначена цифрами 1, 2, 3, 4, 5,

стоящими слева от соответствующих групп переходов. Т.е. сначала опрашивается переход (5), имеющий 5 входов, потом группа переходов (4), имеющих по четыре входа, далее группы (3), (2) и (1), имеющие, соответственно, по 3, 2 и 1 входу.

С местом $p_{1\{r\}}$ связаны выходы только тех групп переходов, которые соответствуют логике работы КА. На рис. 1 это ситуации с 3 или 4 «живыми» клетками.

Работа модели соответствует обычным правилам приоритетной СП и в основном понятна из представленного описания связей. Очерёдность опроса переходов (при программной реализации) на 2-м уровне – произвольная, на 4-м уровне – детерминированная в пределах одной ячейки. Общесистемная общемодельная детерминированность порядка опроса переходов – отсутствует. Таким образом, ячеистая структура потенциально может быть программно организована гибко, с возможностью реконфигурации. Эта особенность представленной модели должна быть учтена, как ключевая, при синтезе ФОА, объединяющего (обобщающего) свойства и характеристики аппаратов КА и СП.

5. Обсуждение

Объекты-аналоги, в которых *нечто* может быть представлено как комбинация структур КА и СП, могут быть обнаружены в самых различных областях. Множество примеров, достойных рассмотрения в рамках концепций бионики, предоставляет мир живой природы.

Попутно отметим, что разнообразие применённых в живой природе «технических решений» наводит на мысль о чрезвычайной эффективности того «творческого процесса», в котором выполнены (и продолжают выполняться) все эти «разработки». Разумеется, термины «техническое решение», «творческий процесс», «разработка» и др. следует рассматривать лишь как проекции антропоморфных представлений на ОМ. Но следует иметь в виду также, что «эволюционный процесс» и «естественный отбор» по Ч. Дарвину тоже есть лишь текущий ограниченный временной срез человеческих представлений о движущих силах развития ОМ. Эволюция, движимая естественным отбором, разумеется, работает, но нет оснований предполагать (и сам Ч. Дарвин, разумеется, никогда такого не утверждал), что этот механизм является единственным из возможных.

Современные технические и информационные средства позволяют производить наблюдения и делать содержательные заключения будучи событийно-, ситуационно- и пространственно- удалёнными от предмета и места действия. Поэтому самые неожиданные наблюдения могут быть сделаны прямо через средства массовой информации.

При этом ничуть не ограничиваются возможности по их анализу и интерпретации. В документальном фильме [11] показан примечательный пример использования системы типа комбинации КА с СП (точнее, с нейронной сетью, которую, если требуется, можно смоделировать средствами СП), в животном мире, в «конструкциях» живой природы. Этот пример может быть рассмотрен и проанализирован. Фильм в целом посвящён жизни морских животных (рыб, моллюсков, ракообразных и др.) в экосистеме кораллового рифа. Среди прочего в фильме показаны головоногие моллюски – каракатицы – несколько эпизодов их охоты на крабов. Как известно, головоногие моллюски являются приматами в классе моллюсков. Они имеют беспрецедентный функционально богатый двигательный аппарат и демонстрируют разнообразное поведение в различных «жизненных ситуациях» «тактического взаимодействия» с ОМ (нападение, преследование, уход от преследования, оборона и др.), вплоть до применения средств постановки помех (чернильные бомбы) и посторонних предметов в качестве орудий труда и оружия. Одна из особенностей, демонстрируемая головоногими, быстродействующая развитая система смены окраски и фактуры поверхности кожи. Исполнительный механизм – кожа, способная менять окраску – «конструктивно реализован» в виде мозаики из фрагментов (типа, пикселей) различного цвета, с подкожной мускулатурой, способной сжимать-растягивать отдельные цветные кожные фрагменты, изменяя их размер на 2-3 порядка по площади. В соответствии с человеческими колориметрическими представлениями для синтеза произвольного требуемого цветового оттенка требуется по крайней мере три опорных цвета. Колориметрия – наука эмпирическая, базирующаяся на «конструктивных особенностях» человеческого зрения. В колориметрии изучаются не *собственно* цветовые оттенки (совокупности длин волн излучения), а *восприятие* цветовых оттенков человеком (установление тождественности реакций на разные комбинации наборов длин волн). «Колориметрия зрения» морских животных, как оказалось, не отличается существенно от модели, «реализованной» в человеческом зрении. Кожа головоногих моллюсков содержит необходимый базовый набор цветов пикселей. Поэтому головоногие моллюски умеют синтезировать цвета участков своей кожи, варьируя размеры отдельных пикселей *базовых* цветов, подобно тому, как синтезируется изображение на экране дисплея посредством варьирования яркости отдельных цветных пикселей.

Расширенные *динамические* возможности смены окраски кожи продемонстрированы в [11] в эпизодах охоты. Каракатица издали видит краба (свою будущую жертву) и медленно приближается

к нему. При этом, чтобы не спугнуть жертву, каракатица предпринимает некоторые действия, которые могут быть охарактеризованы как «динамическая маскировка». Каракатица широко расставляет (выбрасывает в стороны) двое щупалец; остальные шесть плотно сжимает по центру. Кожные перепонки между распределёнными таким образом щупальцами образуют некое подобие экрана в форме рыбьего хвоста. Рыб вокруг плавают в изобилии и краб (будущая жертва) их не опасается. Тем более, что «крупная виртуальная рыба», под которую маскируется каракатица, повернута к крабу хвостом, т.е. вероятно должна плыть не к нему, а от него. Чтобы усилить иллюзию удаления от жертвы и скрыть за ней фактическое реальное приближение к жертве, каракатица «показывает жертве кино»: по её хвостообразному экрану движутся цветные полосы в направлении *к жертве*. Как отмечалось, действие происходит в коралловых рифах, т.е. на малых глубинах — по видимому порядка 1-3 метра. Толща воды хорошо просвечивается; на поверхности всегда имеется волнение, блики и теневые полосы, от которого всегда имеются на грунте и морских обитателях. «Кино» из движущихся полос, прокручиваемое каракатицей на хвостообразном экране, воспроизводит картину, соответствующую движению световых бликов при удалении *от жертвы*. Под прикрытием этой иллюзии каракатица медленно приближается и при достижении критической дистанции хватает жертву. Далее экран и «кино» из цветных полос за ненадобностью сворачиваются.

Примечательна последовательность действий: обнаружение жертвы → решение об охоте → формирование экрана → запуск «кино» → приближение → захват → отключение «кино» → демонтаж экрана. В [11] показано три подобных эпизода. Сцена, разумеется, «отрепетирована»: используется «прикормленная» каракатица. Но все «актёры» настоящие и в каждом из «отснятых дублей» жертва гибнет, а каракатица не проигрывает заученную ею мизансцену, а воспроизводит имеющийся в её арсенале реальный алгоритм охоты. Составной частью алгоритма является «прокрутка кино»: включение КА в режиме движения полос. Клетками являются цветные фрагменты кожи каракатицы, а работа КА состоит в выполняемом в определённом порядке (ритме) масштабировании (растяжении или сжатии) фрагментов кожи. Разумеется, всё это (динамическая смена раскраски) есть чисто рефлекторное явление, соотносимое ситуационно, включаемое автоматически и поддерживаемое локально, автономно, периферийно. Подобные конфигурационно не слишком сложные динамические структуры допустимо организовать управлением КА с помощью СП, соизмеримой по сложности с представленной на рис. 1. Основные принципы

реализации — постоянный набор правил, элементное единообразие и масштабируемость — демонстрируются рассмотренной структурой.

В аспекте практического применения подобных структур речь может идти, в частности, об адаптивных системах с динамически меняющимся пространственно распределённым фактором, воздействующим на крупный объект или пространственно-протяжённый процесс. Таким фактором может быть, например, температура, освещённость, локальное давление и др. Для противодействия этому фактору система должна реконфигурироваться, реструктурироваться, либо как-либо иначе адаптивно расходовать некоторые свои ресурсы. В частном случае ресурсы могут быть ограничены, либо реконфигурирование может частично снижать эффективность системы. Централизованное управление (ресурсораспределение) в пространственно-распределённых системах малоэффективно, ввиду задержки распространения сигналов значительного расхода вычислительного ресурса. Системы типа рассмотренной более приемлемы, т.к. минимальны по времени срабатывания и обеспечивают адаптивность по выработке требуемой ответной реакции на локальном участке (фрагменте) распределённой структуры.

Выводы

Обработка большого числа параметров (параллельность и распределённость) есть приближение к такому новому видению (модельному пониманию) окружающего мира, в котором преодолевается «магическое» ограничение 7 ± 2 , присущее человеческому интеллекту. Возможностями подобного расширения человеческого интеллекта определяет перспективность сетей Петри и клеточных автоматов, а также целесообразность их синтеза в единый формально-описательный аппарат. На настоящий момент отсутствует единая парадигма моделирования сложных систем, которая бы объединяла пространственные представления (подобно клеточным автоматам) и визуальную детализацию смены фаз системы во времени (подобно сетям Петри). Перспективен поиск такой парадигмы, в частности, на пути синтеза формально-описательных аппаратов клеточных автоматов и сетей Петри. В качестве промежуточного этапа предложена модель клеточного автомата, выполненная на сети Петри. Намечены перспективные пути дальнейшего поиска и возможные направления использования подобных объединённых представлений.

Список литературы: 1. Михаль О.Ф. Глобальный системный контекст развития ЭВМ // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Второй Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 20 апреля 2012 г. В 3-х томах. Том 1 — Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации»,

2012. – С. 38-47. **2. Михаль О.Ф.** Синтез модели клеточного автомата на сети Петри. Часть I. Гносеологический аспект // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. – С. 89-94. **3. Михаль О.Ф.** Синтез модели клеточного автомата на сети Петри. Часть II. Масштабируемая структура // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. – С. 94-103. **4. Т. Тоффолли**, Н. Маарголус. Машины клеточных автоматов. – М.: «Мир», 1991. – 280 с. **5. В.Е. Котов.** Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с. **6. У. Росс Эбби.** Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. – 398 с. **7. Н.М. Амосов.** Алгоритмы разума. – К.: Наукова думка, 1979. – 224 с. **8. George A. Miller.** The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>). **9. Б. Рассел.** История западной философии, т. 1. – М.: – “Миф”, 1993. – 602 с. **10.** Цифровая физика // (http://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая_физика). **11.** Жак Клюзо, Жак Перрен (Jacques Cluzaud, Jacques Perrin). Жители океанов. ч.3. Народ рифов (Le Peuple Des Oceans. 3. Le Peuple Des Recifs). – Galatee Films, 2011. – DVD5, 3.7 Gb.

Поступила в редколлегию 11.02.2014

УДК 681.513

Синтез моделі клітинного автомату на мережі Петрі / О.П. Михаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 47–54.

Як засоби моделювання елементів обчислювальної техніки (ОТ) отримали розповсюдження клітинні автомати (КА) та мережі Петрі (МП). Зміна станів позначки МП подібна до чергування активності та релаксації нейронів людського мозку; зміна поколінь КА – реконфігурації структур мозку (що є прототипом ОТ). Ця аналогія визначає перспективність синтезу засобів моделювання на основі композиції принципів КА та МП. Як проміжний етап розглянуто моделювання КА засобами МП.

Л. 1. Бібліогр.: 11 найм.

UDK 681.513

Syntheses of model of cellular automata based on the Petri nets / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 47–54.

Cellular automatons (KA) and Petri nets (PN) are widespread for modeling of computers. Change the conditions of PN marking looks like the interleaving of activities and relaxations of neurons of human brain. Change the generations of KA – is like to the rearranging the structures of the brain (the prototype of computers). These analogy defines the prospect of syntheses of the similars on base of the composition of principles of KA and PN. The modeling of KA on base of PN is considered as intermediate stage.

Fig. 1. Ref.: 11 items.

УДК 681.513



О. Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

ГЛОБАЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В глобальном историческом контексте в связи с активным вхождением интеллектуальных средств вычислительной техники в человеческое окружение в качестве усилителей человеческого интеллекта очерчен слой проблем в организации индивидуальной творческой человеческой деятельности, связанных с адаптацией человеческого интеллекта к техническим системам.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, УСИЛИТЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Введение

Высокие темпы развития и обновления средств вычислительной техники (ВТ), а также экспансивность, с которой ВТ проникает во всё многообразие человеческой жизни, порождают ряд вопросов в плане оценки перспектив последующего развития. Представляют интерес причины, цели и движущие силы столь бурного всплеска развития различных направлений научно-технического прогресса, связанных со средствами ВТ. В литературе аргументация по данному вопросу традиционно центрируется вокруг тезиса о наличии «переломного этапа научно-технической революции», т.е. опять же сводится к констатации факта взрывного развития средств ВТ. Собственно же *генезис* процесса (смысл, предназначение, цели) повсеместно остаётся «за кадром». Однако подобные вопросы первостепенно важны, в частности, для крупномасштабного оценивания при выборе перспективных стратегических направлений развития. Данный круг вопросов частично и разрозненно рассмотрен ранее в [1, 2]. В настоящей работе формулируется объединяющая концепция.

1. Цель и смысл существования

Середина XX века характеризуется энергичным стартом и бурным развитием электронных средств ВТ. Процесс развития продолжается по настоящее время, сопровождаясь сменой физических принципов, технологической базы, парадигм программирования, системных организационных концепций и прочее. Процесс видоизменяется также идеологически, приобретая на текущий момент черты глобальной информационной интеграции и включая в себя сетевые структуры, мобильные терминалы, распределённые вычисления, удалённое хранение и обработку информации. Примечательно, в частности, что высокотехнологичная и информационно ёмкая электронная техника на настоящий момент практически не модернизируется и не ремонтируется на уровне функциональных узлов и крупных блоков, поскольку темпы обновления (разработки нового оборудования) столь высоки, что в типичном случае выпущенная единица

продукции морально устаревает, ещё находясь во вполне удовлетворительном рабочем состоянии.

Достаточно очевидно, что процесс развития ВТ (во всяком случае, его постановочный и мотивационный планы) реализуется средствами человеческого интеллекта. Поэтому этот процесс целесообразно соотносить с человеческими целевыми установками и ценностными ориентациями, т.е., в конечном счёте с целью и смыслом человеческой жизни.

Предназначение (цель, смысл) существования индивидуального (личностного) сознания (интеллекта) является одной из традиционных общемировоззренческих проблем, всегда стоявших перед человечеством. Причина извечности и неразрешаемости этой проблематики в том, что цель и смысл существования (функционирования и развития) всякой системы находятся вне этой системы. Данный тезис выглядит парадоксально, хотя, по существу, он может рассматриваться как обобщение (расширенная формулировка, аналог) теоремы Гёделя о неполноте [3].

Может быть дана следующая качественная иллюстрация. Пусть имеется система объектов

$$\{A, B, C, D, \dots\}, \quad (1)$$

функционально связанных между собой:

$$\begin{aligned} &0, f_{AB}, f_{AC}, f_{AD}, \dots \\ &f_{BA}, 0, f_{BC}, f_{BD}, \dots \\ &f_{CA}, f_{CB}, 0, f_{CD}, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Запись f_{AB} означает, что объект A (первый индекс) воздействует на объект B (второй индекс). Воздействие предполагает, например, передачу информации. На каждый из объектов поступает информация из других объектов (столбец в записи (2)), внутри объекта она перерабатывается и затем результаты выдаются на другие объекты (строка в записи (2)). Нули по диагонали в (2) означают, что связь объекта самого на себя реализуется внутри объекта.

Система (1) функционирует во времени: объекты обмениваются информацией. Пусть в некоторый момент времени один из объектов изъят из

системы — выключен или уничтожен. Полагаем, что изъятый объект не может самовключиться или самовосстановиться. С точки зрения изъятых объектов это не означает ничего: объект просто прекратил своё функционирование (существование в системе). С точки зрения системы (1), это означает разрыв части информационных связей (удаление соответствующих строки и столбца в записи (2)) и, как следствие, возможно, частичную утрату функциональности системы. Если система может адаптироваться или восстанавливаться при подобной утрате, возможна последующая реконфигурация связей и восстановление функциональности.

В аспекте *предназначения* существование объекта самого по себе, в выключенном состоянии, вне системы (1) — лишено цели и смысла. Объект вне системы — бесцелен и не функционален. Цель и смысл существования объекта проявляется только в составе системы, т.е. находится *вне* объекта.

Рассмотренная иллюстрация является достаточно общей и в рамках традиционных кибернетических представлений предположительно может включать интеллектуальные системы. Если переходить к нетрадиционным представлениям (эзотерика, религия), то всевозможное «потустороннее существование» и «существование в ином мире» (или «мире ином») по существу будет лишь расширением системы (1) без качественного изменения предмета рассмотрения и выводов. Т.е. с учётом сказанного, цель и смысл существования каждого из объектов *окружающего мира* (ОМ) проявляются только во взаимодействии *этого* объекта с *другими* объектами.

Разумеется, любой объект реального ОМ при детализации его рассмотрения является неисчерпаемо сложным и сам представляет собой систему из объектов следующего (нижнего) уровня. Интересен случай, когда объект (например, А из (1)) наделён сознанием и находится в состоянии осознания тезиса о цели и смысле своего существования. Кстати, при этом объект уже становится субъектом. В случае человека (представителя вида *Homo sapiens*) это состояние называется поиском смысла жизни.

При незначительной переформулировке ситуация сводится к известному с античных времён парадоксу лжеца («критянин Эпимемнид утверждал, что все критяне лжецы»), известному также в теоретико-множественной и формально-логической формулировках как парадокс Рассела (B. Russell) [4]. В самом деле: тезис «результат поиска смысла — лишён смысла», по-видимому, является одновременно и истинным, и ложным. Согласно сформулированному выше тезису (цель и смысл существования всякой системы находится вне этой системы), некоторый смысл обретается. Индивидуальное (личностное) существование

каждого из представителей вида *Homo sapiens*, взятого изолированно (т.е. изъятых из системы), лишено смысла. Однако смысл появляется в ходе межличностных взаимодействий, т.е. на уровне социальных связей. Человек живёт не «для себя», а «для других». В понятие *смысла* человеческого существования входят, в частности, продолжение рода, улучшение условий существования, повышение уровня комфортности окружения, наиболее полное удовлетворение материальных и духовных потребностей и прочие элементы (составляющие). В целом, данная совокупность составляющих реализует единую *цель*, которая может быть сформулирована так: повышение вероятности выживания вида *Homo sapiens*, человечества, человеческой цивилизации. Рассмотрим далее, каким образом это связано со взрывными темпами развития средств ВТ.

2. Древний период человеческой истории

Древние предки существующего ныне человечества представляли собой малочисленный вид, входивший в питательные цепи нескольких видов крупных хищников, и потому пребывавший на грани исчезновения. Положение изменилось с изобретением технологии получения огня. Собретением огня повысилась защищённость от хищников, консолидировались социальные связи (в частности, за счёт распределения функций по поддержанию и применению огня), изменился рацион питания (переход от растительной пищи к высококалорийной термообработанной мясной пище) и т.д. Всё это в совокупности повысило конкурентоспособность вида в животном мире и вероятность его выживания. Как следствие, древние предки теперешнего человечества решительно потеснили (вторглись в экологическую нишу) крупных хищников и вскорости превратились в доминирующий вид. Вследствие этого численность популяции увеличилась, ареалы её обитания расширились, произошёл переход к оседлому земледелию и скотоводству, за счёт чего дополнительно стабилизировалось пищевое обеспечение и ещё более повысилась вероятность выживания вида. При этом, в полном соответствии с концепцией акад. В. И. Вернадского о *ноосфере* [5], разумная (хозяйственная) деятельность начала вносить в экологическую систему планеты изменения геологического масштаба. Это проявилось в виде нескольких взаимосвязанных процессов. Оседлые формы хозяйствования способствовали расширенному воспроизводству средств существования. Как следствие, возросла численность популяции, что стало приводить к более интенсивному использованию ресурсов с перспективой их исчерпания. Возросла конкуренция за ресурсы, проявилась конфликтность между отдельными группами

популяции за владение ключевыми позициями в распределении ресурсов. Для более результативного использования ресурсов появилась потребность в новых орудиях труда; для более эффективного разрешения конфликтных ситуаций – потребность в качественном оружии. Как следствие, были востребованы новые технологии (промышленные и военные), предполагавшие освоение новых источников ресурсов: сырья и энергии.

Как известно, за *каменным* веком последовали *медный (бронзовый)*, затем *железный*, названные так по ключевым технологиям, получившим распространение в соответствующие периоды времени. Медь и бронза, как исторические вехи человеческой истории, – понятия нечёткие. Ресурсы чистой (самородной) меди, по-видимому, ещё изначально были не слишком значительными, вследствие чего более широко медь применялась в виде сплавов – бронз и латуней. Технологическое различие между *медным (бронзовым)* и *железным* веками определяется различием в видах освоенного сырья (медные и железные руды) и в источниках энергии для получения соответствующих температур плавления.

Для добычи руд требуется разработка недр с использованием орудий труда, что выдвигает новые технологические задачи. Поэтому, для разработки медных руд на начальном этапе должны были применяться каменные и деревянные орудия труда, пока не стали достаточно распространены медные и бронзовые орудия. Аналогично, при разработке железных руд медные и бронзовые орудия труда были постепенно вытеснены железными.

Как известно, для получения бронз требуется температура в пределах 1000 °С; для плавки железа – порядка 2000 °С (доменный процесс). Первая из этих температур реализуема на основе древесного топлива, в частности, с применением активного дутья. Вторая температура, с учётом последующего совершенствования технологий, предполагает освоение нового источника энергии – каменного угля. Для его добычи опять же требуется разработка недр с использованием соответствующих орудий труда.

По результатам сказанного может быть сделано следующее обобщение. Человеческая история в целом, в крупном масштабе, выглядит как процесс последовательного освоения новых видов сырья и новых источников энергии по мере исчерпания прежних видов сырья и прежних источников энергии. Этот процесс, после исходного толчка (первоначального качественного изменения) – обретения огня, является далее самоподдерживающимся (самообеспечивающимся) и самостимулирующимся (самотивирующимся). В рамках этого процесса для освоения следующего (очередного) энергетического или сырьевого ресурса используется технологический потенциал прежних

освоенных ресурсов. Текущим технологическим уровнем *определяются возможности* по освоению новых видов сырья и новых источников энергии; а исчерпанием наличных ресурсов *стимулируется потребность* в освоении новых ресурсов. При этом каждый последующий шаг в освоении ресурсов улучшает жизненные условия, поскольку для этого он и делается. Поэтому каждый шаг связан с дальнейшим укреплением доминирующего положения *Homo sapiens*, ростом численности популяции, расширением ареалов обитания, повышением уровня защищённости и комфортности и проч., то есть, дальнейшим повышением вероятности выживания вида.

3. Рост технологической оснащённости

Описанный крупномасштабный процесс развития является, по-видимому, универсальным. Он стартовал с обретением огня и продолжается по настоящее время. Человеческая история, цветисто раскрашенная возвышениями империй и падениями династий, величественными взлётами духа и кровавыми войнами, является оболочкой технологической истории последовательного освоения новых и исчерпания прежних видов сырья и источников энергии.

Текущий этап технологической истории в части использования сырьевых ресурсов характеризуется базовой изученностью широкого разнообразия полезных ископаемых (практически вся таблица Менделеева). Из них промышленно освоен большой (но не весь) набор ископаемых, ориентированный главным образом на производство конструкционных материалов, назначением которых является дальнейшее наращивание технологической базы. Преимущественно применяемые способы обработки сырья – энергоёмкие высокотемпературные технологии. Интенсивно исследуются низкоэнергоёмкие технологии, для которых предположительно потребуется другая сырьевая база. Перспективны, в частности, нанотехнологии.

Что касается освоения энергетических ресурсов, на текущем этапе по оценкам специалистов имеется угроза исчерпания в обозримом будущем ресурсов каменного угля, нефти и газа. Реализуется переход на альтернативные энергетические ресурсы. Промышленно освоен ресурс энергии ядерного деления. На подходе (в продвинутой фазе изучения) – ресурс энергии ядерного синтеза.

Что касается вида *Homo sapiens*, в ходе технологического развития улучшились условия существования, что помимо роста популяции, повысило также среднюю продолжительность жизни отдельного индивида. При этом стали открываться новые виды *угроз*, которые должны быть преодолены для дальнейшего повышения вероятности выживания вида. К их числу относятся, в частности, болезни,

многие из которых были не видны (не успевали проявиться) при прежней средней продолжительности жизни. Потенциально опасны также климатические катастрофы, геологические катаклизмы, падения крупных космических объектов, антропогенные факторы (технологический и военный) и др. Угрозы вырисовываются постепенно, по мере накопления информации и роста возможностей по их обнаружению и осознанию (моделированию, оценке). Обнаружение и осознание угрозы предполагает далее постановку задачи и поиск путей по её преодолению. За последние полвека актуализировались полтора-два десятка ранее неизвестных (не рассматривавшихся) потенциальных угроз. Многие из них таковы, что негативный сценарий развития может серьёзно снизить вероятность выживания вида *Homo sapiens*. Единственное условие преодоления наличных и будущих угроз — дальнейший *рост технологической оснащённости* человечества. В ходе технологического роста разрабатываются средства обнаружения потенциальных опасностей, превентивные меры по предотвращению (обходу) опасностей, а также потенциал активного противодействия. Обратной стороной технологического роста является возможное (вероятное) появление новых технологических угроз. Но несмотря на это, альтернатив технологическому росту попросту не существует.

4. Интеллектуальный ресурс

Основой роста технологической оснащённости являются три составляющие: сырьевая, энергетическая и интеллектуальная. Базовый характер сырьевого и энергетического ресурсов — очевиден. Непосредственным проявлением их использования является материальная культура — рукотворное человеческое окружение. Менее нагляден *интеллектуальный ресурс* (ИР), однако без него сырьевые и энергетические ресурсы остались бы не освоенными. Речь идёт об *учёных* — образованных и творчески настроенных людях, существовавших во все времена, способных придумать технологии, благодаря которым (прямо или косвенно) начинают разрабатываться новые источники сырья и энергии, что в конечном счёте приводит к основной цели: повышению вероятности выживания вида. По времени — первыми из них были изобретатели огня. Как отмечалось, результатом этого изобретения явилось доминирование вида *Homo sapiens* в животном мире. По мере осознания новых угроз творческая деятельность ИР перестраивается на разработку технологий, направленных на их преодоление. Так, на настоящий момент осознана (на уровне стратегического планирования) угроза столкновения с Землёй крупных космических объектов (астероидов, комет). Угроза является маловероятной, но слабо обнаружимой

и плохо предсказуемой (ограниченной по возможности долговременного прогноза). Поэтому эта угроза является практически не контролируемой и чрезвычайно разрушительной по последствиям. Наличие этой угрозы является основной мотивацией по освоению космического пространства и созданию автономных внеземных поселений (колонизации планет) для повышения вероятности выживания человечества.

ИР человечества — *немногочисленен*. Численность его может быть грубо оценена по показателям занятости в сфере науки в наше время. По опубликованным усреднённым данным, порядка 1% жителей планеты имеют высшее образование. Из числа выпускников высших учебных заведений, порядка 1-2% (нескольких процентов) получают впоследствии начальную учёную степень (к.т.н.). Из их числа, порядка 1-2% (нескольких процентов) получают впоследствии следующую учёную степень (д.т.н.). В грубом приближении, в разной степени активно наукой занимается группа людей размером порядка численности обладателей учёных степеней. При этом, также в грубом приближении, научный вклад, по-видимому, пропорционален рангу учёной степени. Резюмируя сказанное, ИР планеты в *грубой* оценке составляет 0,001% — 0,0001%, то есть 10^{-5} — 10^{-6} от численности населения планеты. Сомневающиеся могут взглянуть на номера собственных дипломов о присвоении учёных степеней и ретроспективно сопоставить их с численностью населения своей страны.

Логично предположить (нет оснований не предполагать), что подобная картина имела место и в прошлом. Целесообразно исходить из тривиального факта: во все времена валовый продукт, производимый человечеством, человечеством же и потреблялся. Следовательно, *усреднённо*, определённая часть валового продукта расходовалась на решение определённого класса задач. Следовательно, *усреднённо*, фиксированный процент валового продукта мог расходоваться на поддержание ИР.

Произвольное (волевое, в приказном порядке) повышение численности ИР проблематично по ряду причин. Психология научного творчества достаточно сложна. Важными составляющими творческой личности являются креативность, работоспособность, мотивация, концентрация и др. Люди существенно различаются по степени развитости этих и других аспектов. Выражаясь упрощённо, число «умных» людей, потенциально пригодных для занятия наукой, ограничено и составляет определённый (оценочно указанный выше) процент от численности населения. Имеются также экономические ограничения: учёные непосредственно не участвуют в создании валового продукта, а только потребляют его часть. Этим автоматически

устанавливается уровень (порог) «накопригодности», по которому «избирают в учёные». В простейшем случае речь может идти о конкурсных отборах на получение высшего образования и дальнейшего развития в направлении учёных степеней. Таким образом, численное процентное ограничение ИР носит объективный характер.

5. Знаемое и неизвестное

По мере развития науки расширяется область *знаемого*, но ещё более стремительно расширяются горизонты *неизвестного*. Там, в *неизвестном*, находится понимание (осознание) новых угроз на пути развития человечества. Там же — изобретение новых технологий по преодолению этих угроз, включая базовые технологии по разработке новых источников сырья и энергии. В связи с этим имеется три проблемы: рост сложности, экономическая затратность и априорная неизвестность относительно перспективности направлений поиска.

По мере развития науки наблюдается *рост сложности* получения новых знаний. В научно-прикладном плане каждая следующая задача разработки очередного сырьевого или энергетического ресурса является существенно более сложной, чем предыдущая (по предыдущему сырьевому или энергетическому ресурсу). Говоря упрощённо, если бы сложность решаемых задач была приблизительно одинаковой, то, например, технологии получения меди, железа и добычи энергии на основе ядерного синтеза были бы одинаково доступны ещё в период получения огня. Тогда целесообразно (возможно) было бы изначально выбрать и разработать технологии для наиболее нужных и полезных сырьевых ресурсов и наиболее энергоёмких источников энергии. Однако в реальном историческом процессе каждый следующий технологический скачок предполагает надлежащий уровень развития уже имеющихся (ранее разработанных) ресурсов. Т.е. новый технологический скачок, как минимум, включает в себя сложность предыдущего пройденного пути технологического развития.

Также по мере развития науки растёт *экономическая затратность* получения новых знаний, а, следовательно, и стоимость новых технологий. Затратность обусловлена, в частности, тем, что в типичном случае для разработки очередного нового ресурса требуется проведение исследований на дорогостоящем специально разработанном уникальном экспериментальном оборудовании, построенном на базе ранее освоенных ресурсов.

Неизменной особенностью развития науки является *априорная неизвестность перспективных направлений поиска*. Изначально неизвестно по каким направлениям следует вести поиск очередного нового источника сырья или энергии. Новые возможности появляются по мере получения новых

данных на основе исследований и оборудования, которые становятся возможными только на основе достижений «текущего переднего фронта» технологического прогресса. Поэтому всякий раз видна только «текущая (промежуточная) конечная цель» и поиск вынужденно разворачивается вширь, «по всему периметру горизонта *неизвестного*», нащупывая и сопоставляя различные *возможные* направления. Перспективность того или иного направления вырисовывается в значительной мере непосредственно в ходе его разработки, конкурентно с другими возможными направлениями. Попутно (возможно) уясняется технологическая неподготовленность каких-либо аспектов и осуществляется соответствующий маневр сырьевыми и интеллектуальными ресурсами. Таким образом, в целом, ввиду априорной неизвестности направления поиска, потребность в ИР нарастает пропорционально «ширяющемуся периметру горизонта *неизвестного*».

Ввиду наличия указанных трёх проблем, ИР для ведения поиска новых источников сырья и энергии требуется *в возрастающем количестве*.

6. Пределы роста численности населения

Интересно сопоставить оценку ИР с демографическими данными. Рис. 1, заимствованный из [6], иллюстрирует крупномасштабную динамику роста численности населения планеты за 4 тысячи лет. Горизонтальная ось — время, вертикальная — численность населения в миллиардах. Оценочно рост может быть аппроксимирован гиперболическим законом, то есть, абсолютные темпы роста пропорциональны квадрату численности населения. Гладкий участок А-В на графике — «полка», качественно выпадающая из общей картины гиперболического роста, вероятно объясняется крупномасштабными ошибками в традиционной исторической хронологии, вскрытыми акад. А. Т. Фоменко [7]. В отношении технологий, 2000 г. до н.э. относится к бронзовому веку. Таким образом, изображенный период перекрывает основной массив технологического прогресса человечества и иллюстрирует стремительное нарастание доминирования вида.

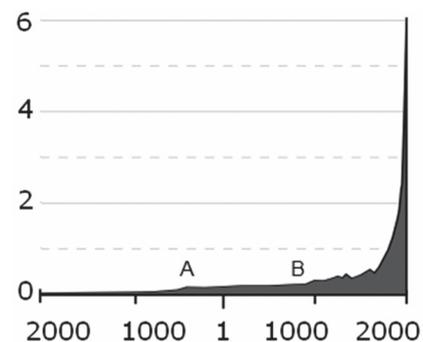


Рис. 1. Рост населения за 4 тыс. лет

Графики (рис. 2) заимствованные из [8], охватывают более актуальный 450-летний период. Что касается прошлого, хронология, начиная с XVII века, более-менее сплошная и устойчивая [7]. Соответственно, демографические данные носят более определённый характер. Что касается будущего, графики 1, 2 реалистических моделей иллюстрируют «спад темпов нарастания», в частности, в связи с кризисной динамикой экологической обстановки. Выход модельных графиков 1, 2 «на полку» (оптимистический антикризисный вариант, в отличие от ухода на бесконечность в модели 3 гиперболического роста) соответствует ограниченному биологическому ресурсу планеты — предельной численности населения, которую способен поддерживать биологический потенциал планеты. Точкой (знак °) в центре рис. 2 обозначено состояние «на текущий момент» (по времени получения результатов, представленных на графике). Характерно, что текущая численность населения «сошла» с графика гиперболического нарастания 3 на графики 1, 2 реалистических моделей.

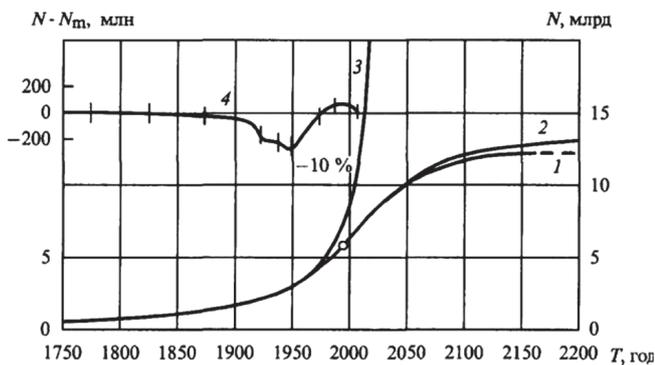


Рис. 2. Рост населения с 1750 по 2200 г.

График 4 (рис. 2) иллюстрирует разницу между реальной численностью населения и расчётом по моделям в увеличении (масштабировано по вертикали) в 5 раз. Чётко видны потери населения при войнах, с учётом которых, тем не менее, отклонения от модели не превышает 10% [8].

Как следует из представленного, гиперболический рост численности населения в обозримом будущем вероятно сворачивается и численность стабилизируется. Соответственно, «выходит на полку» и ИР — численность учёных планеты. В плане поддержания прежних темпов технологического развития (освоения новых ресурсов сырья и энергии по мере исчерпания старых) — это «плохая новость», потому что, как отмечено выше, ИР требуется в возрастающих количествах.

7. Усилители человеческого интеллекта

В проблеме обеспечения технологического прогресса ИР имеется *противоречие между наличием и потребностью*. При фиксированном проценте ИР от численности населения, поставка

ИР в возрастающих количествах (в соответствии с возрастающими потребностями развития науки) автоматически достигалась раньше за счёт роста численности населения. Но этот рост не безграничен. В обозримом будущем предполагается стабилизация, обусловленная ограниченным биологическим ресурсом планеты.

Разрешением данного противоречия является переход от *экстенсивного* использования ИР к *интенсивному* — создание и применение технических устройств — *усилителей человеческого интеллекта* (УЧИ). ИР при оснащении его УЧИ не растёт количественно, но улучшается качественно.

Как известно, механические устройства, предназначенные для облегчения проведения вычислительных операций, разрабатывались с античных времён. К XVII — XVIII векам относится появление логарифмической линейки и первых механических устройств типа арифмометра. Многочисленные выдающиеся инженерно-технические достижения и разработки первой половины XX века были выполнены исключительно с применением арифмометров и логарифмических линеек. В середине XX века появились первые ЭВМ, также изначально предназначенные исключительно для облегчения проведения вычислений. Вскорости класс решаемых задач существенно расширился. Появилась концепция *искусственного интеллекта* (ИИ), который (в аппаратной и программной реализации) призван сопровождать *человеческий интеллект* (ЧИ) и упрощать получение решений задач различной сложности. Речь идёт, таким образом, об УЧИ как о фундаментальной тенденции, в рамках которой процесс возникновения и развития ЭВМ неизбежен, закономерен и не может быть прекращён. Бурное развитие ЭВМ продолжается уже около 70 лет. Всё это время процесс идёт так, как если бы создатели ЭВМ соревновались с человеческим разумом. Элемент «соревновательности» — закономерен, поскольку ЧИ является объектом «усиления» средствами УЧИ, а также единственным и неизменным прототипом при создании УЧИ. В 60-70 годах XX века в обзорных статьях это указывалось явным образом: принято было писать о том, работу скольких тысяч инженеров-расчётчиков (месячную или годовую норму) выполняет одна ЭВМ (с указанием конкретного типа) за одну минуту. Позднее — метафора поблекла, потому что инженер-расчётчик с логарифмической линейкой в руках — исчез. Он пересел за ЭВМ, то есть оснастился более эффективным УЧИ.

Таким образом, УЧИ, являясь продолжениями ЧИ и сливаясь с ЧИ в ходе решения задач, преобразуют интеллектуальный процесс в целом, реорганизуя вместе с тем творческие аспекты человеческой деятельности. УЧИ разрабатываются с учётом адаптации под человеческие возможности, но и ЧИ адаптируется под представление информации в УЧИ.

8. Реорганизация индивидуальной творческой человеческой деятельности

Интеллектуальная будущность вида *Homo sapiens* во взаимодействии с ЭВМ как УЧИ вырисовывается достаточно перспективно. Для полноценной компенсации необходимого прироста ИР, компьютерный ИИ неотвратимо будет усовершенствован до масштабов, превосходящих творческий потенциал ЧИ. Человечество *вынуждено* будет создать ИИ, превосходящий собственный естественный, стремясь сохранить собственную безопасность (выживание вида) в условиях возникающих новых (не просматривающихся в настоящее время) угроз своему выживанию. Речь может идти как о будущих земных экологических и геологических проблемах, так и о проблемах, которые возникнут в связи с колонизацией планет и естественных спутников солнечной системы. Ничего неожиданного в этом нет. Место человека в ОМ (понимание человеком своего места в ОМ) постоянно меняется и, как отмечалось, с середины XX века средства ВТ становятся доминирующими УЧИ. При этом они оказываются столь эффективными, что *de facto* рассматриваются (обсуждаются) как сопоставимые с человеческим мозгом в интеллектуальном плане. Таким образом, двухзвенная схема взаимодействия заменяется на трёхзвенную (рис. 3).

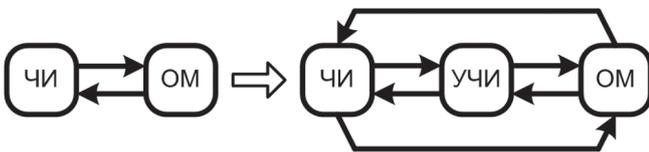


Рис. 3. Смены взаимодействия человеческого интеллекта с окружающим миром

В связи с вхождением средств ВТ в качестве УЧИ в повсеместное расширенное использование раскрывается новый слой проблем. В частности, требуют осмысления дальнейшие возможные пути развития по трём направлениям, которые иллюстрируются рис. 3:

- ЧИ по взаимодействию с ОМ ($ЧИ \leftrightarrow ОМ$) с учётом наличия УЧИ: ($ЧИ \leftrightarrow УЧИ$) и ($УЧИ \leftrightarrow ОМ$);
- УЧИ по взаимодействию с ЧИ ($ЧИ \rightarrow УЧИ$);
- и
- ЧИ по взаимодействию с УЧИ ($ЧИ \leftarrow УЧИ$).

Один из срезов этой проблематики – организация *индивидуальной творческой человеческой деятельности* (ИТЧД) с использованием УЧИ.

Могут быть выделены *коллективные* и *индивидуальные* сферы реализации ЧИ как творческой человеческой деятельности. Индивидуальные сферы деятельности подчинены коллективным, но коллективные формируются индивидуальными. В части взаимодействия $ЧИ \leftrightarrow УЧИ$ коллективной сферой творческой деятельности является,

в частности, адаптация УЧИ (средств ВТ) к возможностям и потребностям ЧИ: формулирование новых технических требований к УЧИ, разработка новых и совершенствование старых УЧИ в направлении расширения их возможностей, т.е. преимущественно связь $ЧИ \rightarrow УЧИ$. В ИТЧД, напротив, преобладает связь $ЧИ \leftarrow УЧИ$: адаптация человека (конкретного индивида) к существующим наличным УЧИ, изучение и освоение их возможностей. Сюда входят, в частности, переосмысление этих возможностей, приспособление к ним, поиск новых путей использования в рамках имеющихся возможностей; а также реорганизация (перестройка, переупорядочение) самой ИТЧД в связи с наличными возможностями и особенностями использования УЧИ. Последний аспект – наиболее интересен в прикладном плане.

Таким образом, ЧИ, обзаводясь УЧИ, получает обратное воздействие – необходимость подстройки ЧИ под возможности текущего имеющегося УЧИ. Поскольку УЧИ созданы самим ЧИ, то это обратное воздействие есть по существу воздействие ЧИ на ЧИ, т.е. самонастройка (самосовершенствование, самоорганизация) ЧИ. В самом деле: средства ВТ для реализации УЧИ разрабатываются той самой «тонкой прослойкой» человечества, которую мы назвали ИР. Поэтому УЧИ реализуют принципы работы лучших образцов ЧИ в меру понимания этой проблемы разработчиками, т.е. задействованным ИР.

Таким образом, применение УЧИ есть одновременно и реорганизация работы ЧИ. Реорганизация касается взаимодействия с УЧИ; поэтому, по существу, применение УЧИ есть комплексное мероприятие, включающее не только частичную разгрузку ЧИ, но и настройку (совершенствование организации работы) ЧИ. По мере неизбежного и неотвратимого роста интеллектуальности УЧИ, целесообразно ожидать также и роста интеллектуальности (интеллектуального уровня) по обратной связи – влияния УЧИ на ЧИ. Поэтому в обозримом будущем следует ожидать появления средств ВТ в статусе «учителей и наставников» для ЧИ. По-видимому, в рамках взаимодействия $ЧИ \leftrightarrow УЧИ$ в этом не могут усматриваться какие-либо негативные проявления типа «бунта машин», поскольку УЧИ остаются вспомогательными системами, выполняющими определенную часть человеческой работы. Но, по-видимому, также возможна определённая конфликтность вследствие социальных неоднородностей в рамках понятия ЧИ. Не исключено (следует надеяться), что статус УЧИ как «учителей и наставников» для ЧИ сможет быть обращён для сглаживания и ликвидации указанной возможной социальной конфликтности во благо развития ЧИ и ИТЧД.

Выводы

Текущий этап развития человеческой цивилизации характеризуется качественными изменениями в динамике лавинообразного нарастания накопления научной информации. До середины XX века нарастание шло в основном за счёт ресурса ЧИ: пропорционально росту численности исследователей. Рубеж тысячелетий явственно обозначил угрозу экологического кризиса, опасность исчерпания биологических ресурсов планеты, как следствие, излом на кривой демографического роста и, в конечном счёте, - невозможность дальнейшего экстенсивного использования ресурса ЧИ. Фактором интенсификации явилось расширенное введение УЧИ, каковыми на текущем этапе развития являются средства ВТ. ЧИ и УЧИ взаимно дополняют и взаимно влияют друг на друга. УЧИ изначально проявляются и развиваются как модели ЧИ, но когда они воспроизводят «лучшие образцы» и «наиболее эффективные аспекты функционирования» ЧИ, использование УЧИ проявляется как фактор реорганизации индивидуальной творческой человеческой деятельности.

Список литературы: 1. Михаль О.Ф. Глобальный системный контекст развития ЭВМ // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Второй Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 20 апреля 2012 г. В 3-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ “Российский университет кооперации”, 2012. – С. 38-47. 2. Михаль О.Ф. Информационный аспект организации индивидуальной творческой человеческой деятельности // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практиче-

ской конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. – С. 81-88. 3. Теорема Гёделя о неполноте / (http://ru.wikipedia.org/wiki/Теорема_Гёделя_о_неполноте) 4. Парадокс Рассела / (http://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_Рассела). 5. Вернадский В.И. Химическое строение Биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 2001. 6. Wikipedia. Население Земли. / (http://ru.wikipedia.org/wiki/Население_Земли). 7. Фоменко А.Т. Глобальная хронология. М.: изд-во механико-математического ф-та МГУ, 1993. 8. Капица С.П. Демографическая революция и будущее человечества // “В мире науки”. – 2004. – № 4. – С. 82-91.

Поступила в редколлегию 26.02.2014

УДК 681.513

Глобально-історичний контекст розвитку засобів обчислювальної техніки / О.П. Михаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 55–62.

В глобальному історичному контексті, в зв'язку з активним надходженням інтелектуальних засобів обчислювальної техніки до людського оточення як підсилювачів людського інтелекту, окреслено шар проблем щодо організації індивідуальної творчої людської діяльності, пов'язаних з адаптацією людського інтелекту до технічних систем.

Л. 3. Бібліогр.: 8 найм.

UDK 681.513

Global-history context of the development of the facilities of the computing machinery / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 55–62.

The global history context is considered, in connection with active entering the intellectual facilities of the computing machinery in human encirclement as amplifiers of the human intellect. The layer of the problems is outlined in organization of the individual creative human activity, in accordance with adapting the human intellect to technical system.

Fig. 3. Ref.: 8 items.

УДК 004.021: 004.312.4: 004.421.6: 004.414.2



Е. А. Лукьянова

ТНУ имени В. И. Вернадского, г. Симферополь, Украина, lukyanovaea@mail.ru

О ПРОВЕРКЕ ФОРМУЛ *CTL*-ЛОГИКИ НА МОДЕЛЯХ КРИПКЕ СЕТИ ПЕТРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются модели Крипке детальной сети Петри и её компонентной сети Петри. Устанавливается, что эти модели являются однотипными алгебраическими системами и доказывается их гомоморфизм, на основании которого строится алгоритм проверки формул темпоральной *CTL*-логики на модели Крипке детальной сети Петри через проверку *CTL*-формул на модели Крипке её компонентной сети Петри.

СЕТИ ПЕТРИ, КОМПОНЕНТНАЯ СЕТЬ ПЕТРИ, МОДЕЛЬ КРИПКЕ, ГОМОМОРФИЗМ, ТЕМПОРАЛЬНАЯ ЛОГИКА

Введение

Для исследований по созданию и организации функционирования сложных ответственных параллельных распределённых систем (операционных, информационных систем, систем управления объектами и технологическими процессами, коммуникационных протоколов) используются их различные математические модели. С помощью этих моделей может быть проведён анализ функционирования исследуемых систем, осуществлена оценка и диагностика правильности их функционирования. Для этого может быть использован один из методов формальной верификации – метод проверки на модели (*model checking*) [1, 2, 3, 4]. Метод проверки на модели предполагает: 1) построение формальной (математической) модели исследуемой параллельной распределённой системы, отражающей возможное поведение системы, 2) запись требований корректности в виде формальной спецификации требований, отражающей желаемое поведение системы, 3) проверку согласованности возможного поведения с желаемым.

Основной трудностью в процессе формальной верификации параллельных распределённых систем является эффект комбинаторного взрыва (*state explosion problem*) в пространстве состояний модели. На решение этой проблемы направлено создание современных моделей описания функционирования параллельных распределённых систем.

Разнообразные исследования теории сетей Петри широко демонстрируют возможности формализма математических моделей, представленных сетями Петри. Изучение структурных и динамических свойств таких моделей даёт полную характеристику исследуемой системы. Формализм сетей Петри для моделирования параллельных распределённых систем значительно улучшается за счёт использования компонентной сети Петри (*CN*-сети) исходной детальной модели Петри N исследуемой системы [5]. Компонентное моделирование позволяет получать модель значительно меньших размеров, чем исходная детальная модель

Петри. При этом компонентная сеть Петри является адекватной, с точки зрения установления подобия сетей Петри в результате их редукции [6]. Для компонентного моделирования редукция детальной (больших размеров) сети заключается в выделении в детальной модели Петри N составных компонент: компонент-мест C_p и компонент-переходов C_t [7].

В настоящей работе будет продолжено исследование начатое в работе [8] по изучению возможностей использования имеющихся результатов компонентного моделирования и инструментов компонентного анализа для верификации параллельных распределённых систем путём применения метода проверки на модели (*model checking*).

1. Предварительные сведения

Алгоритмы верификации на модели предполагают задание свойств системы (представление формальной спецификации требований) в виде логической формулы. При этом используются аппараты логических языков темпоральных логик, например, язык логики ветвящегося времени (*CTL – Computation Tree Logic*) [3, 4]. Проверка истинности такой логической формулы проводится на одной из разновидностей автомата – модели Крипке [9].

Модель Крипке для темпоральной логики представляется в виде структуры $K = (G, R, f)$, где G – множество состояний, $R \subseteq G \times G$ – отношение переходов, $f: G \rightarrow B(P)$, P – множество атомарных высказываний, $B(P)$ – булеан множества P .

Путём в K называется бесконечная последовательность состояний

$$\pi = g_1, g_2, \dots: \forall i \geq 0 \quad (g_i, g_{i+1}) \in R,$$

соответствующая вычислениям системы.

Формулы логики *CTL* строятся из элементарных высказываний, булевских функций и временных операторов. Используются временные операторы: \square («для всех путей вычисления»), \diamond («для некоторого пути вычисления»), между которыми выполняется отношение двойственности и за которыми следует

один из следующих линейных временных операторов: \square («следующий момент»), \odot («когда-то в будущем»), \bullet («всегда»), \blacklozenge («до тех пор, пока»), \ominus («высвободить») (используется универсальная унификация языка логики *CTL*, предложенная в [10]).

Для каждого состояния $g \in G$ и каждой формулы φ *CTL*-логики её значением $g(\varphi)$ в состоянии g является булева константа 1 или 0, которая определяется индуктивно:

a) если $\varphi = p \in P$, то φ определена в K ;

b) $g(1) = 1$, $g(0) = 0$;

c) $g(\neg\varphi) = \neg g(\varphi)$, $g(\varphi \wedge \psi) = g(\varphi) \wedge g(\psi)$,
 $g(\varphi \vee \psi) = g(\varphi) \vee g(\psi)$;

d) значения формул, начинающихся с *CTL*-операторов, определяются следующим образом [3, 4, 10]:

1) $g(\square\varphi) = 1$, если для каждого $g' : (g, g') \in R$, выполняется $g'(\varphi) = 1$;

2) $g(\blacklozenge\varphi) = 1$, если существует $g' : (g, g') \in R$ и выполняется $g'(\varphi) = 1$;

3) $g(\square\odot\varphi) = 1$, если для каждого пути π из g существует состояние $g' \in \pi$, такое, что имеет место $g'(\varphi) = 1$;

4) $g(\blacklozenge\odot\varphi) = 1$, если существует путь π из g и существует состояние $g' \in \pi$, такое, что имеет место $g'(\varphi) = 1$;

5) $g(\square\bullet\varphi) = 1$, если для каждого пути π из g и для каждого состояния $g' \in \pi$ имеет место $g'(\varphi) = 1$;

6) $g(\blacklozenge\bullet\varphi) = 1$, если существует путь π из g , такой, что для каждого состояния $g' \in \pi$ имеет место $g'(\varphi) = 1$;

7) $g(\square\blacklozenge(\varphi, \psi)) = 1$, если для каждого пути π из g существует состояние $g' \in \pi$, такое, что выполняется

$$(g'(\psi) = 1) \wedge (\forall g'' <_{\pi} g', g''(\varphi) = 1);$$

8) $g(\blacklozenge\blacklozenge(\varphi, \psi)) = 1$, если существует путь π из g и существует состояние $g' \in \pi$, такое, что выполняется в 7);

9) $g(\square\ominus(\varphi, \psi)) = 1$, если для каждого пути π из g и для каждого состояния $g' \in \pi$ выполняется

$$(g'(\psi) = 1) \vee (\exists g'' <_{\pi} g', g''(\varphi) = 1);$$

10) $g(\blacklozenge\ominus(\varphi, \psi)) = 1$, если существует путь π из g такой, что для каждого состояния $g' \in \pi$ имеет место 9).

При этом нетрудно показать, что любую *CTL*-формулу можно записать используя только логические операции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции (\neg, \wedge, \vee) и *CTL*-операторы $\blacklozenge\square, \blacklozenge\bullet, \blacklozenge\blacklozenge$.

Имеют место следующие равенства:

1) $\neg(\varphi \wedge \psi) = (\neg\varphi) \vee (\neg\psi)$, $\neg(\varphi \vee \psi) = (\neg\varphi) \wedge (\neg\psi)$,
 $\neg(\neg\varphi) = \varphi$;

2) $\square\square\varphi = \square(\square\varphi)$;

3) $\blacklozenge\square\varphi = \blacklozenge\square(\blacklozenge\varphi)$;

4) $\square\odot\varphi = \neg(\blacklozenge\bullet\neg\varphi)$;

5) $\square\bullet\varphi = \neg(\blacklozenge\blacklozenge(1, \neg\varphi))$;

6) $\square\blacklozenge(\varphi, \psi) = \neg(\blacklozenge\blacklozenge(\neg\psi, \neg(\varphi \wedge \neg(\psi))) \wedge \neg(\blacklozenge\bullet(\neg\psi)))$;

7) $\square\ominus(\varphi, \psi) = \neg(\blacklozenge\blacklozenge(\neg\varphi, \neg\psi))$;

8) $\blacklozenge\ominus(\varphi, \psi) = \blacklozenge\blacklozenge(\psi, \varphi \wedge \psi) \vee \blacklozenge\bullet\psi$.

2. Гомоморфизм моделей Крипке детальной и её компонентной сетей Петри

В работе [8] обосновано рассмотрение для исследуемой системы, её двух моделей Крипке K_N и K_{CN} . Каждая из этих моделей получается в результате перехода от двудольных графов – моделей исследуемой системы, представленных её сетями Петри, к графам с одним типом вершин – моделям Крипке. А именно: осуществляется переход от детальной сети Петри N к модели K_N и от её компонентной сети Петри CN к модели K_{CN} . При этом имеет место корректная редукция модели Крипке K_N исходной детальной сети Петри N исследуемой системы, результат которой – модель K_{CN} компонентной сети CN , имеющая меньшее количество состояний, чем модель K_N .

Для доказательства этого факта рассмотрим модели Крипке K_N и K_{CN} соответственно как реляционные системы $K_N = (G, R, \chi_1)$ и $K_{CN} = (G', R', \chi_1')$. Это реляционные системы с двумя бинарными отношениями: отношением переходов соответственно R и R' и отношением компоненты соответственно χ_1 и χ_1' [6, 11], рассматриваемыми на множестве состояний соответственно G и G' моделей Крипке $K_N = (G, G_0, R, f)$ и $K_{CN} = (G', G'_0, R', f')$.

Отношение переходов R – несимметричное упорядоченное бинарное отношение, задающее множество упорядоченных пар $(g_i, g_{i+1}) \in R$ состояний модели Крипке K_N , для которых в этой модели имеется соединяющая их дуга.

Отношение компонент χ_1 удовлетворяет следующим условиям:

1) для каждого состояния $g \in G$ выполняется $g\chi_1g$;

2) для двух состояний g_1 и $g_2 \in G$ выполняется $g_1\chi_1g_2$, если g_1 и g_2 – являются состояниями одного участка слабой (односторонней) связности модели Крипке K_N , который моделирует функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы.

Отношение χ_1 является рефлексивным, симметричным, транзитивным бинарным отношением, которое разбивает множество состояний G модели Крипке K_N детальной модели Петри N на непесекающиеся классы эквивалентности, в каждый такой класс попадают состояния, для которых выполняются условия 1) – 2). Если состояние $g \in G$ не является состоянием ни одного из участков

слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N , то это состояние само представляет класс эквивалентности – единичный класс.

Для отношений R' и χ_1' модели K_{CN} вышеизложенное аналогично с учётом того, что бинарные отношения R' и χ_1' получены по одной и той же схеме, что и бинарные отношения R и χ_1 из соответствующего базисного множества G' и для отношения χ_1' условие 2) вырождается в условие 1). Модели $K_N = (G, R, \chi_1)$ и $K_{CN} = (G', R', \chi_1')$ как реляционные системы являются однотипными алгебраическими системами [12].

Рассмотрим преобразование, переводящее модель Крипке K_N детальной сети Петри N в модель Крипке K_{CN} компонентной сети Петри CN . Такое преобразование предполагает отображение множества состояний G модели K_N в множество состояний G' модели K_{CN} .

Теорема 1. Пусть имеется модель Крипке K_N , построенная по детальной сети Петри N исследуемой параллельной распределённой системы. Тогда модель Крипке K_{CN} , построенная по компонентной сети Петри CN является гомоморфным образом модели K_N .

Доказательство. Рассмотрим отображение $h: G \rightarrow G'$ множества состояний G модели K_N в множество состояний G' модели K_{CN} . Модели K_N и K_{CN} являются реляционными системами $K_N = (G, R, \chi_1)$ и $K_{CN} = (G', R', \chi_1')$ с двумя бинарными отношениями соответственно R , χ_1 и R' , χ_1' , для которых выполняются следующие импликации:

$$h(\chi_1(g_1, g_2)) \rightarrow \chi_1'(h(g_1), h(g_2)), \quad (1)$$

$$h(R(g_1, g_2)) \rightarrow R'(h(g_1), h(g_2)). \quad (2)$$

Рассмотрим импликацию (1). Для неё возможны случаи:

a) состояния g_1 и g_2 не являются состояниями одного участка слабой связности модели Крипке K_N , который моделирует функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы, или одно из состояний g_1 или g_2 не является таковым, тогда условие (посылка) импликации (1) ложно, а, значит, сама импликация (1) истинна;

b) состояния g_1 и g_2 являются состояниями одного участка слабой связности модели Крипке K_N , который моделирует функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. Тогда условие (посылка) импликации (1) истинно и образами состояний g_1 и g_2 из K_N является одна и та же вершина из K_{CN} , т.е. $h(g_1) = h(g_2)$. Значит, согласно условиям 1) – 2) отношение $h(a_1)\chi_2 h(a_2)$ истинно и истинна импликация (1).

Для импликации (2) возможны следующие случаи:

a) отношение $g_1 R g_2$ ложно, т.е. для состояний g_1 и g_2 в модели Крипке K_N нет соединяющей их дуги, тогда (2) – импликация с ложным условием. Следовательно, импликация (2) истинна;

b) отношение $g_1 R g_2$ истинно, тогда имеют место следующие возможности:

b₁) состояния g_1 и g_2 не являются состояниями ни одного участка слабой связности модели Крипке K_N , который моделирует функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. Значит, эти состояния g_1 и g_2 представляют единичные классы эквивалентности по отношению χ_1 . И из того, что отношение $g_1 R g_2$ истинно следует, что в модели K_{CN} имеется дуга, соединяющая состояния $h(g_1)$ и $h(g_2)$, т.е. отношение $h(g_1)R'h(g_2)$ истинно. Следовательно, импликация (2) истинна;

b₂) одно из состояний g_1 или g_2 является состоянием одного из участков слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы, т.е. является элементом некоторого класса эквивалентности по отношению χ_1 . Значит, при отображении h это состояние является элементом полного прообраза своего образа. Тогда отношение $h(g_1)R'h(g_2)$ истинно и импликация (2) истинна;

b₃) оба состояния g_1 и g_2 являются состояниями одного участка слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. Тогда состояния g_1 и g_2 являются элементами одного класса эквивалентности по отношению χ_1 . При отображении h образы этих состояний совпадают, т.е. $h(g_1) = h(g_2)$ и являются одним и тем же состоянием модели K_{CN} . Это состояние согласно условиям 1) – 2) само с собой находится в отношении χ_1' : $h(g_1)\chi_1'h(g_2)$. Следовательно, в случае *b₃)* при отображении h имеет место истинная запись

$$(h(R(g_1, g_2)) \rightarrow h(\chi_1(g_1, g_2))) \wedge$$

$$\wedge (h(\chi_1(g_1, g_2)) \rightarrow \chi_1'(h(g_1), h(g_2))),$$

из которой видно, что в случае *b₃)* импликация (2) принимает вид (1) и является истинной.

Следствие 1. Для одноимённых отношений R и R' и χ_1 и χ_1' реляционных систем $K_N = (G, R, \chi_1)$ и $K_{CN} = (G', R', \chi_1')$ имеют место следования (3) и (4):

$$(R'(h(g_1), h(g_2)) = T) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \exists_{G'} g_1', g_2' ((h(g_k) = h(g_k')), k = 1, 2) \wedge$$

$$\wedge (R(g_1', g_2') = T), \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 & (\chi_1'(h(g_1), h(g_2)) = T) \Rightarrow \\
 & \Rightarrow \exists_{\mathcal{G}} g_1', g_2' ((h(g_k)) = h(g_k'), k=1,2) \wedge \\
 & \wedge (R'(g_1', g_2') = T), \quad (4).
 \end{aligned}$$

Следование (3) выполняется для состояний g_1, g_2 модели Крипке K_N , для которых имеют место две возможности: а) оба состояния g_1, g_2 не являются состояниями ни одного из участков слабой связности модели Крипке K_N , моделирующих функционирование соответствующих составных компонент, выделенных в детальной сети Петри N исследуемой системы; б) одно из состояний g_1 или g_2 не является состоянием участка слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы.

Следование (4) выполняется для состояний g_1, g_2 модели Крипке K_N , являющихся состояниями одного из участков слабой связности модели Крипке K_N , моделирующих функционирование соответствующих составных компонент, выделенных в детальной сети Петри N исследуемой системы.

Следствие 2. Множество всех путей в модели K_{CN} является гомоморфным образом множества всех путей в модели K_N .

3. Алгоритм проверки формул *CTL*-логики на модели Крипке K_N через проверку формул *CTL*-логики на модели Крипке K_{CN}

Задача проверки на модели состоит в определении выполнимости для системы, которая задаётся моделью Крипке, свойства, выраженного формулой темпоральной логики. Формальный логический язык темпоральной логики за счёт использования временных модальных операторов выразительно представляет в виде формул темпоральной логики свойства систем, использующих параллельные вычисления. Одними из основных свойств для систем с параллелизмом являются следующие свойства:

1) свойство взаимного исключения (*mutex*), которое определяет синхронизацию одновременно выполняющихся процессов, когда несколько параллельных процессов требуют использования единого общего ресурса. Получить же доступ к единому общему ресурсу возможно лишь в случае взаимного исключения, когда в каждый момент времени только один из процессов может использовать общий ресурс;

2) свойство справедливости (*fairness*), которое так же определяет корректное функционирование: если какое-нибудь событие должно произойти, то наступит такой момент, когда это событие произойдёт.

Формула φ , описывающая свойство взаимного исключения для формул p и q имеет вид:

$$\varphi = \Box \neg (p \wedge q).$$

Формула φ , описывающая свойство справедливости для формул p и q имеет вид:

$$\varphi = \Box (p \rightarrow \Diamond q).$$

Структура Крипке удовлетворяет формуле (свойству) φ логики *CTL*, если φ выполняется для всех путей, выходящих из начального состояния g_0 . Согласно следствию 2 пути в моделях K_N и K_{CN} гомоморфны.

Рассмотрим путь π в модели K_N и ему гомоморфный путь π' в модели K_{CN} . Пусть формула φ выполняется для некоторого пути π' модели K_{CN} . Имеют место следующие возможные случаи для состояний, рассматриваемого пути π' .

1) Пусть последовательность состояний, составляющих путь π' , содержит только образы состояний модели K_N , которые не являются состояниями ни одного из участков слабой связности модели Крипке K_N , моделирующих функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. Тогда гомоморфизм пути π' модели K_{CN} и соответствующего ему пути π модели K_N является биективным и для состояний этих путей выполняется следование (3) следствия 1. А, значит, выполнимость (не выполнимость) формулы φ на пути π' влечёт выполнимость (не выполнимость) этой формулы на пути π .

2) Пусть путь π' содержит состояния-инкапсулянт. Состояния-инкапсулянты – это состояния модели K_{CN} , в которые в результате гомоморфизма h инкапсулируются состояния модели K_N , являющиеся состояниями одного участка слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. В случае 2) возможны следующие варианты:

а) формула φ не выполняется на пути π' модели K_{CN} . Тогда, очевидно, что формула φ не выполняется на пути π модели K_N ;

б) формула φ выполняется на пути π' модели K_{CN} . В этом случае особого рассмотрения требуют состояния-инкапсулянты g'_i и их прообразы – состояния g_{ik} модели K_N , являющиеся состояниями одного участка слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты, выделенной в детальной сети Петри N исследуемой системы. При этом, учитывая наличие в исследуемой системе одинаковых и однотипных параллельных процессов, рассматривать можно не все состояния-инкапсулянты и соответственно не все участки слабой связности модели Крипке K_N ,

моделирующие функционирование составных компонент. Достаточно исследовать только по одному их представителю с меньшим количеством одинаковых и однотипных параллельных процессов. Такое исследование заключается в проверке выполнимости формулы φ для всех путей данного участка модели K_N , являющихся подпутями пути π , гомоморфным образом которого является соответствующий путь π' модели K_{CN} .

Пусть в рассматриваемом состоянии-инкапсулянте g'_i модели K_{CN} выполняется формула φ .

1') Пусть φ – атомарное предложение. Тогда рассмотрим множества атомарных предложений относящихся к каждому состоянию g_{i_k} соответствующего участка слабой связности модели Крипке K_N , моделирующего функционирование соответствующей составной компоненты и инкапсулирующегося при гомоморфизме h в состояние g'_i модели K_{CN} . И выясним выполнимость формулы φ в данных состояниях g_{i_k} . Доказательство формулы $\neg\varphi$ сводится к опровержению формулы φ в данных состояниях g_{i_k} .

2') Доказательство формулы $\varphi \vee \psi$ сводится к доказательству одной из формул φ или ψ в состояниях g_{i_k} участка слабой связности модели Крипке K_N , инкапсулирующегося при гомоморфизме h в состояние g'_i модели K_{CN} . Для доказательства формулы $\neg(\varphi \vee \psi)$ в состояниях g_{i_k} опровергаются обе формулы φ и ψ .

3') Доказательство формулы $\varphi \wedge \psi$ сводится к выяснению выполнимости обеих формул φ и ψ в состояниях g_{i_k} участка слабой связности модели Крипке K_N , инкапсулирующегося при гомоморфизме h в состояние g'_i модели K_{CN} . Для доказательства формулы $\neg(\varphi \wedge \psi)$ опровергается одна из формул φ или ψ .

4') Если в состоянии-инкапсулянте g'_i модели K_{CN} выполняется формула $\diamond\circ\varphi$, то в модели K_{CN} существует состояние g' , в которое из состояния g'_i есть переход $((g'_i, g') \in R')$ и такое, что $g'(\varphi) = 1$. Согласно следованию (3) следствия 1 в модели K_N для состояния g' имеется состояние g участка слабой связности, отвечающего состоянию-инкапсулянту g'_i модели K_{CN} , из которого в состояние g' имеется переход. Тогда в модели K_N для участка слабой связности, отвечающего состоянию-инкапсулянту g'_i модели K_{CN} , достаточно найти путь π_j , являющийся подпутём пути π , гомоморфным образом которого является соответствующий путь π' модели K_{CN} , в состояниях, которого формула φ выполняется.

5') Если в состоянии-инкапсулянте g'_i модели K_{CN} выполняется формула $\diamond\bullet\varphi$, то в модели K_{CN} из состояния g'_i существует путь π' такой, что для любого состояния g' этого пути выполняется $g'(\varphi) = 1$. Это значит, что в состоянии-инкапсулянте g'_i модели K_{CN} формула φ должна

выполняться. Тогда переходим к рассмотрению пунктов 1') – 3'). И выполнимость формулы φ проверяем в состояниях участка слабой связности модели K_N , отвечающего состоянию-инкапсулянту g'_i модели K_{CN} . При этом достаточно для соответствующего участка слабой связности модели K_N найти путь, являющийся началом указанного пути π' , и проверить, что в состояниях этого пути формула φ выполняется. Такой путь, согласно следованиям (3) и (4) следствия 1 и условию слабой связности участка модели K_N , моделирующего функционирование составной компоненты, существует.

б') Если в состоянии-инкапсулянте g'_i модели K_{CN} выполняется формула $\diamond\circ(\varphi, \psi)$, то в модели K_{CN} существует путь π' из состояния g'_i и существует состояние g' пути π' такое, что $g'(\psi) = 1$ и для любого состояния g'' , предшествующего на этом пути состоянию g' , выполняется $g''(\varphi) = 1$. Тогда все состояния пути участка слабой связности модели K_N , инкапсулирующегося при гомоморфизме h в состояние g'_i модели K_{CN} , и являющегося началом пути π' модели K_N , являются состояниями, предшествующими состоянию g' . Поэтому эти состояния подлежат проверке на выполнимость формулы φ . Тогда переходим к рассмотрению пунктов 1') – 3').

Выполнимость свойства mutex (формулы $\varphi = \square \neg(p \wedge q)$) на модели Крипке K_{CN} проверяется согласно [13]. Для этого исследуются места разметок состояний модели K_{CN} , в которых замоделированы возможные состояния исследуемого процесса, который может находиться в критической зоне, на предмет наличия фишки (метки) в соответствующем месте её компонентной сети Петри. И если данный процесс находится в критической зоне, то соответствующее место компонентной сети Петри, которое моделирует этот процесс, имеет фишку, а на соответствующем месте в разметке рассматриваемого состояния модели Крипке стоит число равное 1. Свойство mutex выполняется, если для разметок M всех достижимых состояний модели K_{CN} , выполняется неравенство

$$M(p_1) + M(p_2) + \dots + M(p_n) \leq 1, \quad (5)$$

где p_1, p_2, \dots, p_n – места разметки достижимого состояния модели K_{CN} , которые отвечают критическим зонам.

Это значит, что для модели K_{CN} необходимо проверить, что для разметки M любого достижимого из начального состояния g_0 модели K_{CN} состояния g модели K_{CN} , неравенство (5) выполняется. В противном случае найти хотя бы одно достижимое состояние модели K_{CN} , для разметки которого неравенство (5) не выполняется.

Для переноса, полученного для модели K_{CN} результата, на модель K_N достаточно осуществить

проверку формулы $\varphi = \Box \neg(p \wedge q)$ только для тех участков слабой связности модели K_N , моделирующих функционирование составных компонент, выделенных в детальной сети Петри N исследуемой системы, для которых проблема mutex актуальна. При этом проверке подлежат только по одному представителю из одинаковых и однотипных участков слабой связности, моделирующих функционирование составных компонент.

Для выполнимости свойства fairness (формулы $\varphi = \Box(p \rightarrow \Diamond q)$) на модели K_{CN} необходимо показать, что для произвольного состояния g модели K_{CN} , для которого существует путь π' из начального состояния g_0 и в котором выполняется формула p , имеет место на этом пути такое последующее состояние g' модели K_{CN} , что в этом состоянии g' выполняется формула q .

Выводы

В статье продолжены, начатые в работе [8], исследования по применению аппарата компонентной сети Петри при верификации параллельных распределённых систем. А именно, использование имеющихся возможностей компонентного моделирования сетями Петри параллельных распределённых систем при получении соответствующих моделей Крипке. Получаемые модели Крипке компонентных сетей Петри имеют значительно меньшие размеры относительно моделей Крипке исходных детальных сетей Петри, что позволяет за машинное время осуществлять проверку формул темпоральной логики, выражающих свойства, которыми должны обладать исследуемые системы. В работе доказано, что модели Крипке детальной модели Петри и соответствующей ей компонентной модели Петри гомоморфны. Установленный гомоморфизм позволил получить алгоритм проверки для формул CTL-логики, использующих логические операции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции (\neg , \wedge , \vee) и CTL-операторы $\Diamond O$, $\Diamond \bullet$, $\Diamond \circ$, так как данные логические операции и операторы можно рассматривать как базовые: любую CTL-формулу можно записать, используя только данные логические операции и CTL-операторы. Данный алгоритм позволяет проводить проверку выполнимости формулы CTL-логики на модели Крипке детальной сети Петри через проверку выполнимости этих формул на уменьшенной модели – модели Крипке компонентной сети Петри. Отдельное внимание в работе было уделено формулам, выражающим свойства mutex и fairness, в связи с тем, что эти свойства присущи системам с параллелизмом.

Список литературы: 1. Clarke E.M., Grumberg O., Peled D. Model Checking // The MIT Press, 1999. – 314 p. 2. Clarke E. M., Emerson E. A., Jha S., Sistla A. P. Symmetry reduction in model checking. In 10th International Conference CAV'98, volume 1427 of LNCS, pages 147-158, Vancouver, BC, Canada, June/July 1998. 3. Миронов А.М. Верификация программ методом Model Checking. – <http://www.intsys.msu.ru/staff/mironov/modelchk.pdf>. – 64 с. 4. Вельдер С.Э., Лукин М.А., Шальто А.А., Яминов Б.Р. Верификация автоматных программ. – С-П.: Наука, 2011. – 247 с. 5. Лукьянова Е. А. О компонентном анализе параллельных распределённых систем // ТВИМ. – 2011. – № 2. – С. 71–81. 6. Лук'янова О. О. Про бісимуляційну еквівалентність детальної моделі Петрі та її CN-моделі досліджуваної паралельної розподіленої системи // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. – 2013. – Спецвипуск. – С.122–127. 7. Лукьянова Е.А. О структурных элементах компонентной сети Петри // Проблемы програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 25–32. 8. Лукьянова Е.А. Применение компонентных сетей Петри в задачах верификации параллельных распределённых систем // Проблемы програмування. – 2014. – № 2-3. – С. 93–98. 9. Семантика модальных и интенциональных логик. Под. ред. В.А.Смирнова. – М.: Прогресс, 1981. – 423 с. 10. Лукьянова Е. А. Метод верификации свойств реактивной системы на модели // ТВИМ. – 2006. – № 2. – С. 60–68. 11. Лукьянова Е. А. О гомоморфизме компонентной сети Петри // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 1. – С.36-44. 12. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с. 13. Крипке С.Л. Дискретна математика. Вибрані питання. – К.: Києво-Могилянська академія, 2007. – 570 с.

Поступила до редколлегии 3.03.2014

УДК 004.021:004.312.4:004.421.6:004.414.2

Про перевірку формул CTL-логіки на моделях Крипке мережі Петрі паралельної розподіленої системи / О.О. Лук'янова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 63–68.

У статті розглянуто питання верифікації на моделях стосовно до паралельних розподілених систем, що представлені мережами ПетріN і їх розширеннями – компонентними мережами ПетріCN. Вирішується задача можливості перевірки формул темпоральної логіки CTL на зменшеній моделі Крипке мережі Петрі досліджуваної системи – моделі Крипке компонентної мережі Петрі CN.

Бібліогр.: 13 найм.

UDK 004.021:004.312.4:004.421.6:004.414.2

On Verifying Formulas of CTL-Logics on Kripke Models of Petri Net of Parallel Distributed System / E.A. Lukyanova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 63–68.

In the paper, the verification problems are examined on the model with respect to parallel distributed systems, represented by PetrinetsN and the irextensions – component PetrinetsCN. The problem of the possibility of verifying the formulas of temporal logic CTL on reduced Kripke model of Petrinet of the system under investigation – Kripke model of component PetrinetCN is being solved.

Ref.: 13 items.

УДК 004.932.2:004.93'1

В. И. Бритик¹, Е. Ю. Жилина², Е. В. Струков³¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, vladimir.brytik@mail.ru;²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ElenkaZhilinaVr@rambler.ru;³ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, e.strukov@rambler.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ОСНОВАННОЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИТОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Данная статья посвящена решению задачи сегментирования, путем введения псевдораскраски для улучшения качества визуального объекта и поиска однородных битовых плоскостей не меняющих законы распределения, взаимозависимостей точек на изображении. Данный алгоритм позволяет несложными битовыми операциями проводить сегментацию изображений. Причем модифицированный алгоритм сохраняет их структурные особенности и сокращает необходимый объем памяти.

СЕГМЕНТАЦИЯ, БИТОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, RGB ФОРМАТ, БИТОВЫЙ СРЕЗ

Введение

Сегментация является одной из основных задач обработки разнообразных изображений во многих прикладных областях. Сегментация это процесс выделения из изображения одной или нескольких связанных областей, удовлетворяющих критерию однородности, который основывается на признаках, вычисляемых из значений нескольких цветовых компонентов. Степень детализации при решении задач сегментации зависит от цели решаемой задачи. Сегментацию следует прекратить, когда интересующие объекты изолированы. Не имеет смысла проводить сегментацию меньше того уровня детализации, который соответствует цели решаемой задачи [1].

Сегментация является наиболее критической процедурой процесса автоматизации анализа изображений, поскольку ее результаты влияют в дальнейшем на все последующие действия, связанные с анализом изображения: представление выделенных объектов и их текстовое описание, измерение признаков, а также другие задачи более высокого уровня (классификация объектов, интерпретация сцен и т.д.).

Изображения участков поверхности земли, космических объектов, рентгеновские снимки и результаты томографических обследований, как правило, имеют множество составных частей, представляющих самостоятельный интерес для исследования. Части изображений, называемые сегментами, образуются совокупностями точек, которые соответствуют определённому критерию однородности. В качестве признаков однородности обычно используют цвет, интенсивность или текстурные признаки. Под цветом подразумевается результат взаимодействия света, сцены и зрительной системы человека [2]. В задачах компьютерной сегментации, помимо выделения самих сегментов изображения, часто желательно сохранить их структурные особенности при различных преобразованиях и сократить объем памяти, занимаемой изображением.

На практике при анализе конкретного изображения возникает необходимость выбора алгоритма, наиболее подходящего для его сегментации. При этом, как очевидно, приходится учитывать как свойства изображения, так и особенности конкретного алгоритма сегментации изображений. Также актуальной сейчас является задача построения универсальной классификации алгоритмов, охватывающая все известные алгоритмы сегментации изображений.

В настоящее время разработано большое количество алгоритмов сегментации изображений от простейших пороговых до довольно сложных алгоритмов, основанных на анализе распределений встречаемости структурных элементов. Простота применения пороговых методов сопровождается переборным характером определения порога, что существенно увеличивает количество выполняемых операций [3].

1. Сегментирование изображения с использованием битовых распределений

Хранение изображений в памяти компьютера и их преобразование выполняется в дискретном виде. Практически дискретизация выполняется устройством ввода (цифровой фотоаппарат, сканер и т.п.). Для цветных изображений в модели RGB каждый отдельный слой (R, G и B) рассматривается и обрабатывается как двумерный массив, любой иной цвет образуется путем смешения в различных пропорциях этих трех базовых цветов [4].

В формате RGB исходное изображение в компьютере представляется в виде последовательности значений откликов, $B(i, j) = I_{RGB}^K(i, j)$ каждое из которых рассматривается как число в двоичном коде, представленное в виде:

$$B(i, j) = I_{RGB}^K(i, j) = I_{RGB}^K(n\Delta x, m\Delta y) + N_{RGB}^K(n\Delta x, m\Delta y), \quad (1)$$

где $I_{RGB}^K(n\Delta x, m\Delta y)$ – величина отражённой интенсивности света (в двоичном коде), падающего на

наблюдаемый объект в некоторой точке и проецируемого в плоскость формирования изображения с координатными осями x, y ; $k \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ – номера битовых плоскостей; $N_{RGB}^K(n\mathcal{X}, m\mathcal{Y})$ – шумы измерения, объединяющие шумы неоднородности освещения наблюдаемого объекта и шумы тракта регистрации изображений; \mathcal{X}, \mathcal{Y} – интервалы дискретизации двумерного непрерывного сигнала по осям x и y , как правило, принимаются равными единице; $i = 1, M$; $j = 1, N$; M и N определяют размерность двумерного массива, содержащего характеристики точек исходного изображения.

Один из алгоритмов выделения сегментов основан на выборе набора битовых полей (срезов) в представлении исходного изображения, которые определяют некую границу в значениях интенсивности света. Процедура определения и затем обнуления номеров таких плоскостей может быть основана либо на анализе битового распределения (битовой гистограммы) исходного изображения, либо на интерактивном вводе некоторого числа, определяющего, какие битовые поля изображения (или их набор) пользователь желает отобразить на экране для последующего анализа. Первый вариант усложняет набор выполняемых операций, но дает формальное обоснование формируемого среза. Второй вариант предполагает использование ранее накопленного опыта пользователя [5].

Такая процедура может быть описана следующим выражением:

$$B(i, j) = I_{RGB}^K(i, j) \& BR_Z, \quad (2)$$

где BR_Z – операнд формирования битовых срезов. При практической реализации данной процедуры для определения маски битовых срезов в интерактивном режиме предпочтительнее считывать RGB-коды некоторой выбираемой исследователем характерной точки обрабатываемого изображения, что делает процесс обработки изображения более удобным и наглядным.

2. Доказательство выполнения сегментации

Пусть на изображении имеются два объекта A и B . Векторы цвета представительных точек этих объектов имеют вид:

$$\vec{A}^2 = a_R^2 + a_G^2 + a_B^2,$$

$$\vec{B}^2 = b_R^2 + b_G^2 + b_B^2,$$

а расстояние между ними:

$$\overline{AB}^2 = (a_R^2 - b_R^2) + (a_G^2 - b_G^2) + (a_B^2 - b_B^2)$$

Пусть удалось определить цветовые составляющие наиболее представительных компонентов одного из этих объектов – $A\{a_R, a_G, a_B\} \rightarrow A\{BRa_R, BRa_G, BRa_B\}$. Согласно предлагаемому алгоритму выполним для каждой точки изображения операцию побитового «и» со

значениями цветовых компонентов объекта A . Значения цветовых компонентов объекта A изменятся в пределах вариации значений:

$$a_R \equiv a'_R = a_R \& BRa_R,$$

$$a_G \equiv a'_G = a_G \& BRa_G,$$

$$a_B \equiv a'_B = a_B \& BRa_B.$$

Значения цветовых компонентов объекта B уменьшатся, т.к. удаляются все единичные биты, не входящие в маски a_R, a_G, a_B .

$$b_R \equiv b'_R = b_R \& BRa_R,$$

$$b_G \equiv b'_G = b_G \& BRa_G,$$

$$b_B \equiv b'_B = b_B \& BRa_B.$$

Равенство в этих выражениях возможно только в том случае, когда значения цветовых компонентов совпадают, что практически означало бы их идентичность.

Естественно, расстояние между векторами цветовых компонентов увеличится

$$\overline{AB'}^2 = (a_R^2 - b_R'^2) + (a_G^2 - b_G'^2) + (a_B^2 - b_B'^2) \geq \overline{AB}^2,$$

что приведёт к изменению соотношений и вызовет сегментацию.

В качестве объектов для экспериментов были выбраны фотоизображения небесных светил и аэрофотоснимки, как наиболее востребованные физиками и картографами при исследовании, моделировании и отображении пространственного расположения, сочетания и взаимосвязи объектов и явлений природы. А также использовались фотоснимки с микроскопа.

На рис. 1 представлено изображение солнца, и в эксперименте был поставлен вопрос об определении областей с одинаковой «температурой», посредством задания конкретной интересующей точки исследователя, был определен код, где $BRa_R = 225$ (11100001), $BRa_G = 164$ (10100100) и $BRa_B = 167$ (10100111). Результирующее изображение представлено на рис. 1, б.

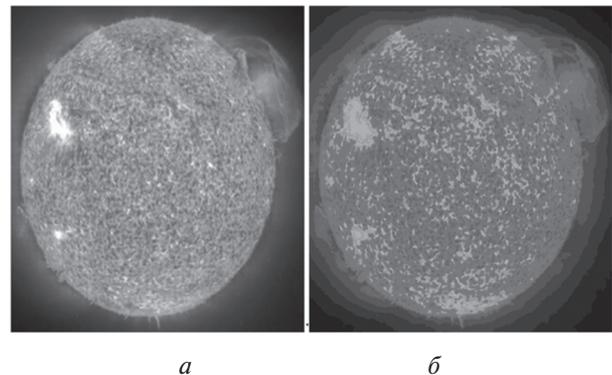


Рис. 1. Изображение сегментации Солнца:

a – исходное изображение;

б – изображение Солнца с выделенными областями с одинаковой температурой

На рис. 2 показаны гистограммы распределения битов на исходном и сегментированном изображениях и гистограммы RGB на исходном и сегментированном изображениях. Анализ этих гистограмм позволяет проверить правильность удаляемых битовых плоскостей, определить их особенности, а также оценить влияние этих изменений на исходную гистограмму RGB.

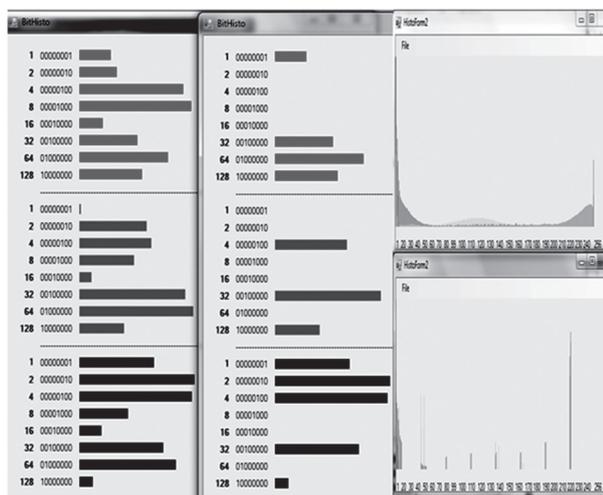


Рис. 2. Гистограммы распределения битов на исходном и сегментированном изображениях и гистограммы RGB на исходном и сегментированном изображениях.

Исследователь имеет возможность удалять любые битовые плоскости по своему желанию. На рис. 3 показаны результаты сегментации с кодом RGB $BRa_R = 191$, $BRa_G = 223$, $BRa_B = 31$ и RGB $BRa_R = 192$, $BRa_G = 160$, $BRa_B = 96$, соответственно.

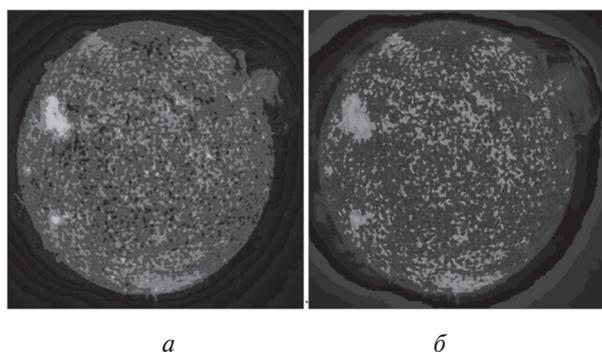


Рис. 3. Приведены результаты сегментации с определенным кодом RGB: *a* – $BRa_R = 191$, $BRa_G = 223$, $BRa_B = 31$;
б – $BRa_R = 192$, $BRa_G = 160$, $BRa_B = 96$

3. Модификации алгоритма битовых распределений

Предложенный алгоритм можно модифицировать, заменив в выражении (2) битовую операцию И (&), операцией суммирования по модулю 2 (^):

$$B(i, j) = I_{RGB}^K(i, j) \wedge BR_Z. \quad (3)$$

В этом случае для каждой точки изображения объектов *A* и *B* выполняется операция побитового

суммирования по модулю 2 со значениями цветочных компонентов выбранного объекта *A* – BRa_R , BRa_G , BRa_B .

Естественно, значения цветочных компонентов объекта *A* примут, в пределах вариации значений, значения, близкие к нулю, за счет чего расстояние между векторами цветочных компонентов объектов *A* и *B* увеличится. А это приведет к сегментации исходного изображения.

Но следует заметить, что эта процедура обеспечивает полное сохранение распределения значений для всех объектов сегментирования. Это следует из обратимости операции $BR_Z \wedge BR_Z = 0$.

$$a_R \gg a'_R = a_R \wedge BRa_R$$

$$a_G \gg a'_G = a_G \wedge BRa_G$$

$$a_B \gg a'_B = a_B \wedge BRa_B.$$

Значения цветочных компонент объекта *B* увеличатся, поскольку добавятся все единичные биты, которые входят в маски BRa_R , BRa_G , BRa_B , но не входят в b_R , b_G и b_B .

$$b_R \gg b'_R = b_R \wedge BRa_R$$

$$b_G \gg b'_G = b_G \wedge BRa_G$$

$$b_B \gg b'_B = b_B \wedge BRa_B.$$

На рис. 4 представлено изображение аэрофотоснимка, и в эксперименте решался вопрос о сегментации областей с близкими значениями распределений RGB посредством выбора конкретной интересующей точки исследователя, был определен код, где $BRa_R = 202(11001010)$, $BRa_G = 181(10110101)$ и $BRa_B = 160(10100000)$. Результирующее изображение с использованием операции MOD2 представлено на рис. 4, б. На рис. 4, в отображён результат использования битовой операции «И».

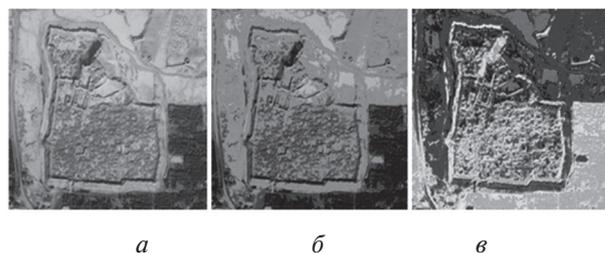


Рис. 4. Сегментация областей изображения аэрофотоснимка с близкими значениями распределений RGB, посредством выбора конкретной интересующей точки исследователя: *a* – исходное изображение; *б* – сегментированное изображение с использованием операции MOD2; *в* – сегментированное изображение с использованием операции «И»

На рис. 5 показаны гистограммы распределения битов на исходном и сегментированном изображениях, при использовании операции MOD2 и гистограммы RGB на исходном и сегментированном

изображениях. Анализ этих гистограмм позволяет получить информацию распределения битов, их изменение, а также оценить влияние этих изменений на исходную гистограмму RGB.

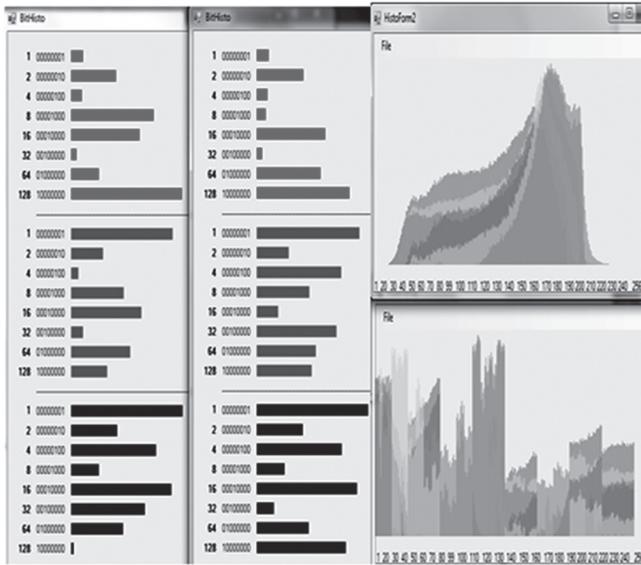


Рис. 5. Гистограммы распределения битов на исходном и сегментированном изображении, при использовании операции MOD2 и гистограммы RGB на исходном и сегментированном изображении

Ещё одной модификацией предлагаемого алгоритма могут служить две процедуры: создание фильтрующего изображения с заданными цветовыми характеристиками (BR_Z); суммирование по модулю 2 исходного изображения (или используя битовую операцию И) с фильтрующим изображением.

На рис. 6 и рис. 7 представлено изображение солнца и результаты использования двух масок с кодом $BRa_R = 221$, $BRa_G = 23$, $BRa_B = 50$ и кодом $BRa_R = 96$, $BRa_G = 160$ и $BRa_B = 192$ соответственно.

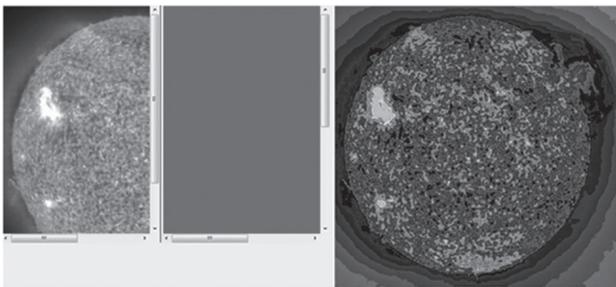


Рис 6. Представлено изображение солнца и результат использования масок с кодом $BRa_R = 221$, $BRa_G = 23$, $BRa_B = 50$

Предлагаемые выше процедуры можно комбинировать и решать другие задачи обработки изображений. Например, из исходного изображения (рис. 8) с помощью операции «И» удалить фон (код $BRa_R = 76$, $BRa_G = 85$ и $BRa_B = 2$) (рис. 8, б), а затем используя операцию MOD2 выделить объект (рис. 9).

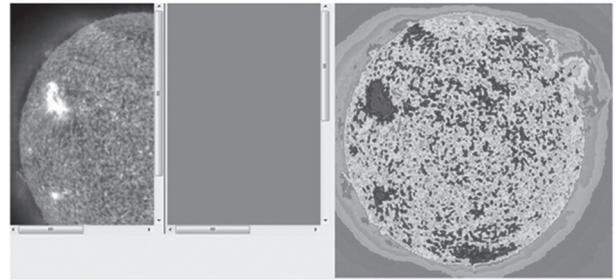


Рис. 7. Представлено изображение солнца и результат использования масок с кодом $BRa_R = 96$, $BRa_G = 160$ и $BRa_B = 192$



Рис. 8. Удаление фона с исходного изображения: а – исходное изображение; б – с помощью операции «И» удаляется фон (код $BRa_R = 76$, $BRa_G = 85$ и $BRa_B = 2$)



Рис. 9. Выделение объекта используя операцию MOD2

Выводы

Существует большое количество методов сегментации изображений. Хотя набор методов не исчерпывающий, они являются характерными представителями техники сегментации.

В некоторых прикладных областях, таких как обработка спутниковых снимков, обработка аэрофотоснимков, а также в обработке медицинских изображений, используются изображения высокого разрешения, а некоторые задачи требуют обработки изображений в режиме реального времени.

Алгоритмы сегментации требуют обработки каждого пикселя изображения, что приводит к росту требований к вычислительным мощностям.

Один из алгоритмов выделения сегментов основан на выборе набора битовых полей (срезов) в представлении исходного изображения, которые определяют некую границу в значениях интенсивности света. Процедура определения и, затем, обнуления, номеров таких плоскостей может быть основана либо на анализе битового распределения

(битовой гистограммы) исходного изображения, либо на интерактивном вводе некоторого числа, определяющего, какие битовые поля изображения (или их набор), пользователь желает отобразить на экране для последующего анализа.

Также можно прийти к выводу, что различные техники можно совмещать [6].

Таким образом, описанные процедуры позволяют несложными битовыми операциями проводить сегментацию изображений. Причем, модифицированный алгоритм сохраняет их структурные особенности и сокращает необходимый объем памяти. Данные процедуры можно комбинировать и использовать их результаты при решении других задач обработки изображений.

Список литературы: 1. Сегментация цветных изображений: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&sqi=2&ved=0CFIQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.psu.by%2Fimages%2Fstories%2Ffit%2Fpersonal%2Fbogush%2Fsegment_ci.ppsx&ei=YjSOUumWGItHqfx04Aw&usq=AFQjCNG9RrU1wsump55B0suOAM_U55JrHg 2. Введение в компьютерное зрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://courses.graphics.cs.msu.ru/mod/resource/view.php?id=393> 3. Махфуд У.А. Комбинированные алгоритмы сегментации цветных изображений.: дис. канд. тех. наук: 05.13.01/ У.А. Махфуд; Институт технической кибернетики национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2002. 4. Денисов Д.А., Низовкин В.А. Сегментация изображений на ЭВМ // Зарубежная радиоэлектроника, 1985. №10. 5. Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий

И.Э. Сегментация изображений: методы пороговой обработки // Зарубежная радиоэлектроника, 1987. №10. 6. Бакут П.А., Колмогоров Г.С. Сегментация изображений: методы выделения границ областей // Зарубежная радиоэлектроника, 1987. №10

Поступила в редколлегию 18.03.2014

УДК 004.932.2:004.93'1

Вирішення задачі сегментації, побудованої з використанням бітових розподілень / В.І. Брітік, О.Ю. Жиліна, Є.В. Струков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 69–73.

Серед безлічі існуючих алгоритмів сегментації зображень, важко зустріти алгоритм який би розроблявся саме з метою сегментації, тобто поділу зображення на області з певною ознакою і збереженням взаємозалежних значень. Метод, представлений в даній статті, дозволяє простими бітовими операціями проводити сегментацію зображень.

Л. 9. Бібліогр. 6.

UDK 004.932.2:004.93'1

The Solution of the images segmentation problem based on using the bit distributions / V.I. Britik, E.U. Zhilina, E.V. Strukov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 69–73.

Among the many existing algorithms for image segmentation, is hard to find an algorithm that would be developed exactly for the segmentation, that is dividing an image into regions with a certain sign and saving dependence of values. The method presented in this article enables simple Boolean operations and make image segmentation

Fig. 9. Ref. 6 items.

УДК 681.518:658.51

В. Є. Сокол¹, М. В. Ткачук², М. О. Кузнецов³,¹ НТУ «ХПІ», м.Харків, Україна, vladyslav.sokol@gmail.com² НТУ «ХПІ», м.Харків, Україна, tka@kpi.kharkov.ua³ НТУ «ХПІ», м.Харків, Україна, mshakuznetsov@gmail.com

МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ОПРАЦЮВАННЯ ІНЦИДЕНТІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОРПОРАТИВНИХ ІТ-ПОСЛУГ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ ДАНИХ УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЯМИ

Проаналізовані деякі сучасні проблеми розробки та використання баз даних управління конфігураціями в системах автоматизації корпоративних ІТ-послуг. З метою удосконалення цієї технології запропонована розширена модель даних та досліджена ефективність використання різних пошукових алгоритмів.

БАЗА ДАНИХ, УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЯМИ, КОРПОРАТИВНІ ІТ-ПОСЛУГИ, ПОШУКОВИЙ АЛГОРИТМ

Вступ

Створення та подальший супровід корпоративної інфраструктури інформаційних послуг (або ІТ-інфраструктури) є необхідною умовою ефективного функціонування та розвитку практично всіх сучасних організацій та підприємств. Вона поєднує в собі різноманітні програмно-апаратні засоби, бази даних, канали зв'язку, периферійне обладнання, а також технічний персонал, що обслуговує різні групи користувачів ІТ-послуг. Для ефективного формування та використання такої ІТ-інфраструктури з'явився новий клас автоматизованих систем управління, а саме: системи управління інформаційно-технологічними послугами (СУІТП), використання яких має на меті забезпечити корпоративним користувачам надання певних ІТ-послуг із заданим рівнем якості [1-2]. Однією із основних функціональних підсистем типової СУІТП є модуль управління інцидентами (Incident Management) [1], який забезпечує підтримку персоналу СУІТП при вирішенні проблемних ситуацій, що виникають в роботі користувачів ІТ-послуг. В свою чергу, однією із найбільш важливих компонентів підсистеми управління інцидентами є база даних управління конфігураціями (configuration management database – CMDB). У контексті рекомендацій стандарту ITIL (IT-Infrastructure Library) [1] CMDB представляє собою репозиторій, що зберігає дані про всі суттєві компоненти та ресурси корпоративної ІТ-інфраструктури та має відповідні програмні засоби для встановлення взаємозв'язків між цими компонентами (тобто їх конфігураціями), а також відстеження змін, що відбуваються з часом в цих конфігураціях. Таким чином, CMDB є основним компонентом процесу управління конфігураціями в СУІТП, який в свою чергу є необхідною складовою процесів управління інцидентами, що виникають в процесі функціонування корпоративної ІТ-інфраструктури.

Тому метою дослідження, результати якого представлено в цій роботі, є аналіз основних

особливостей використання бази даних управління конфігураціями для задач управління інцидентами, а також дослідження моделей та алгоритмів, що мають на меті забезпечити підвищення ефективності цих процесів при використанні сучасних та перспективних СУІТП.

1. Критичний огляд існуючих підходів до побудови та застосування баз даних управління конфігураціями

Основними функціональними компонентами CMDB, які визначені на рівні її логічної моделі, а також які мають бути реалізовані за допомогою відповідних структур зберігання даних, є наступні [3]: *конфігураційна одиниця* (configuration item) – це будь-який компонент або інший сервісний ресурс корпоративної ІТ-інфраструктури, яким необхідно управляти, для того аби надати відповідну ІТ-послугу користувачеві СУІТП. Інформація про кожну конфігураційну одиницю (КО) реєструється у формі запису в CMDB і підтримується актуальною протягом всього життєвого циклу процесу управління конфігураціями;

конфігурація (configuration) – узагальнений термін, що використовується для опису певної групи конфігураційних одиниць, які функціонують разом для забезпечення певної ІТ-послуги або деякої її частини.

Термін "конфігурація" також використовується в стандарті ITIL [1] для позначення налаштувань параметрів однієї чи декількох КО у складі CMDB. Управління конфігураціями (КФ) має забезпечувати вирішення наступних задач [4-6]:

- облік всіх КО в ІТ-інфраструктурі організації, в якій функціонує відповідна СУІТП;
- надання точної інформації про існуючі КФ та документації для підтримки всіх інших процесів управління ІТ-послугами;
- створення інформаційного базису для поточного управління інцидентами, що виникають в роботі користувачів ІТ-послуг.

Досягнення цих цілей дозволяє організації більш ефективно здійснювати управління, інтеграцію і підтримку прийняття рішень щодо ІТ-послуг, а перевірка і коректування конфігураційних записів CMDB забезпечують більш високий рівень контролю корпоративної ІТ-інфраструктури. Процеси управління КФ та інцидентами можна інтегрувати, наприклад, двома способами [6]:

1) якщо для усунення інциденту необхідно внесення змін до даних щодо відповідних КО, модуль управління інцидентами може автоматично створити запит на модифікацію відповідних записів в CMDB;

2) модуль управління інцидентами може використовувати модель даних CMDB для виявлення змін у відповідних КФ, які могли стати причиною виникнення цього інциденту.

Наявність повних і точних даних щодо КО та КФ, які накопичені в CMDB і застосовуються в процесах управління ІТ-послугами, дозволяє персоналу СУІТП приймати вірні рішення і більш точно оцінити ресурси і продуктивність наявних ІТ-ресурсів. Згідно з визначенням [3], кожна КО – це окрема сутність, яка є частиною ІТ-інфраструктури організації і яка має певний набір відповідних атрибутів. Всі КО повинні бути безпосередньою частиною реально існуючої ІТ-інфраструктури відповідної організації, а не тільки інформацією про цю частину.

Для побудови концептуальної моделі даних CMDB можуть бути використані наступні альтернативні підходи [7]:

– розробка за схемою «зверху-вниз» (top-down approach), яка передбачає необхідність ідентифікації спочатку всіх основних бізнес-процесів в організації, а вже потім, на підставі цього, і визначення ключових елементів ІТ-інфраструктури (тобто відповідних КО та КФ), які їх забезпечують;

– розробка із застосуванням схеми «знизу-вверх» (bottom-up approach), що забезпечує формування моделі даних шляхом послідовного додавання до неї кожного нового КО, тобто додавання даних про кожний новий програмний сервіс або апаратний компонент ІТ-інфраструктури організації;

– ітеративний підхід (iterative approach), який означає те, що модель даних CMDB формується у досить вільному форматі, який визначається (та може неодноразово змінюватися) в процесі накопичення проектного досвіду.

Але, незважаючи на наявність різних підходів щодо побудови CMDB, її типова функціональність, як правило, містить наступні операції

(a) створення (create) та маніпулювання (select / delete / insert / update) таблицями, що містять різні типи КО;

(b) встановлення та підтримка логічних зв'язків (тобто КФ) між різними таблицями КО

за допомогою механізму зовнішніх ключів (foreign key);

(c) моделювання ієрархічних структур КО (або ієрархічних КФ) шляхом побудови відношення "суперклас (superclass) – підклас (subclass)";

(d) відстеження в режимі реального часу стану змін та запитів на зміни в КО та у відповідних КФ.

На підставі цього аналізу можливо зробити наступні висновки щодо недоліків у наявній функціональності існуючих CMDB в процесі їх використання для управління інцидентами, які в основному збігаються із висновками, представленими в [6], а саме:

1. Типова функціональність CMDB не передбачає можливостей розширеного пошуку даних у запитах користувачів щодо інцидентів, які містять певні ключові слова (key words).

2. В існуючих процедурах пошуку в CMDB, як правило, не задіяні механізми індексації таблиць зберігання даних щодо КО.

3. При зберіганні даних щодо КО в структурі CMDB не враховуються різні вагові коефіцієнти для відповідних семантичних зв'язків, таких, як наприклад, проста асоціативна залежність (association) або наслідування / узагальнення (inheritance / generalization).

Таким чином, для подолання недоліків (1)-(3), що має на меті підвищення ефективності застосування технології CMDB у процесі управління інцидентами, необхідно розширити відповідну модель даних та розробити алгоритми, що доповнюють функціональність типових операцій (a)-(d) над даними, які накопичуються в CMDB.

2. Застосування CMDB для пошуку елементів конфігурації в процесах опрацювання інцидентів (Incident Management)

Запропонований вище загальний підхід до розширення функціональних можливостей застосування бази даних управління конфігураціями в процесі опрацювання інцидентів при застосуванні відповідної системи СУІТП може бути реалізований у спосіб, який більш детально представлений у цьому підрозділі даної статті.

2.1. Функціональна схема управління інцидентами із застосуванням CMDB

На рис. 1 представлена загальна схема процесу опрацювання інцидентів із використанням технології CMDB, основні етапи якого стисло можна викласти наступним чином.

Процес опрацювання інцидентів починається з моменту його виникнення (це блок (1) на рис. 1). Інцидентом (incident) називається будь-яке незаплановане переривання чи зниження якості ІТ-послуг [6], що надаються корпоративним користувачам. При цьому помилка в роботі окремої КО, яка ще не вплинув на певну послугу, також є

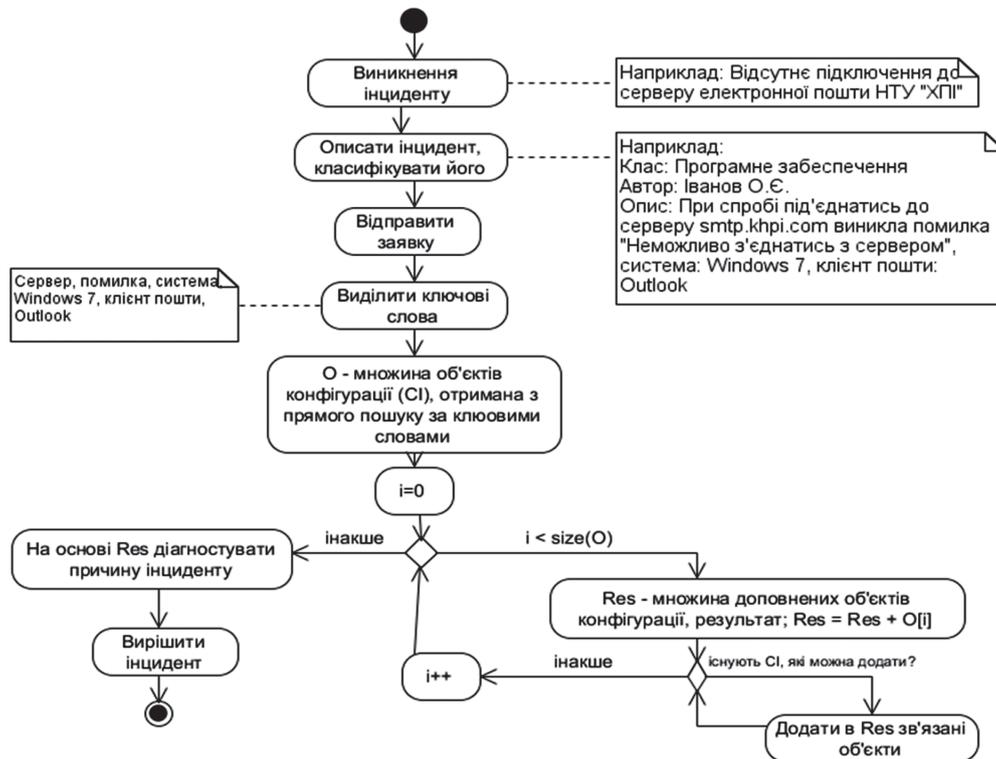


Рис. 1. Загальна схема застосування CMDB в процесі управління інцидентами

інцидентом. Кожному інциденту відповідає текстовий запит (або заявка), що складається відповідним користувачем ІТ-послуг у певному форматі, який він потім надсилає до системи СУІТП через її web-інтерфейс, або електронною поштою (блок (2) на рис. 1). Умовний приклад такої заявки надано на рис. 2.

Користувач	Наливайко М.П.
Тема	Не працює електронна пошта
Клас інциденту	Програмне забезпечення
Опис	При спробі підключення до серверу smtp.khpi.com виникла помилка «Неможливо з'єднатись з сервером». Операційна система: Windows 7, поштовий клієнт: Outlook 2007.

Рис. 2. Приклад текстового опису інциденту, який направлено в СУІТП

Наступним етапом є опис інциденту та його класифікація (це блок (3) на рис. 1). Після занесення запиту в систему із застосуванням методів обробки природної мови, наприклад, із використання онтологій, з його тексту виділяються ключові слова (це блок (4) на рис. 1). Цей список ключових слів далі передається до блоку пошуку релевантних КО, який має на меті розширити множину причин інциденту, спираючись на знання щодо КФ, по відношенню до яких був зафіксований поточний інцидент. Виконується пошук КО, що описуються цими ключовими словами. Далі цей список передається на вхід до алгоритму пошуку релевантних КО, в результаті роботи якого ми отримуємо

новий, розширений список КО. На основі цього списку експерт може робити більш точний висновок відносно того, що могло бути причиною інциденту, провести додаткову діагностику, або ж список передається у якості ключових слів для CBR-системи.

2.2 Розширення типової схеми даних CMDB

На рис. 3 представлена підсхема даних, яка розширює модель даних типової CMDB, у якості якої може бути розглянута, наприклад, схема даних СУІТП Open-source Ticket Request System (OTRS), а саме її розширення OTRS::ITSM 3.3.3 [8]. Особливістю даної підсхеми є наявність таблиці ключових слів *keywords*, в яку заносяться ключові поняття про дану конфігураційну одиницю, а також наявність поля ваги (*weight*) для відображення семантичної значимості взаємозв'язків (*link_type*) між різними КО, інформація про які міститься в таблиці *link_relation*.

Необхідність модифікації існуючої схеми обумовлена необхідністю реалізації пошуку за ключовими словами. В роботі [6] проаналізовані декілька алгоритмів пошуку за ключовими словами та зроблені висновки щодо можливостей їх використання. Були також розглянуті недоліки існуючих можливостей використання типової схеми бази даних управління конфігураціями в процесі управління інцидентами та висунуті пропозиції щодо їх вирішення.

Запропонована схема надає можливість виконувати пошук КО більш ефективно, як показано в роботі [6], ціллю введення таблиці ключових слів

є індексація опису КО у вигляді списку тегів, які описують дану КО, адже у випадку відсутності такої таблиці для виконання пошуку за ключовими словами потрібно було б виконати пошук за полем повнотекстового опису КО. Поле ваги (weight) уможливує врахування нерівноцінності зв'язків як з точки зору напрямлення (наприклад у відношенні наслідування, сторона-предок має більшу вагу по відношенню до потомків, ніж навпаки), так і з точки зору семантики (наприклад відношення наслідування є більш вагомих типом зв'язку, ніж асоціація).

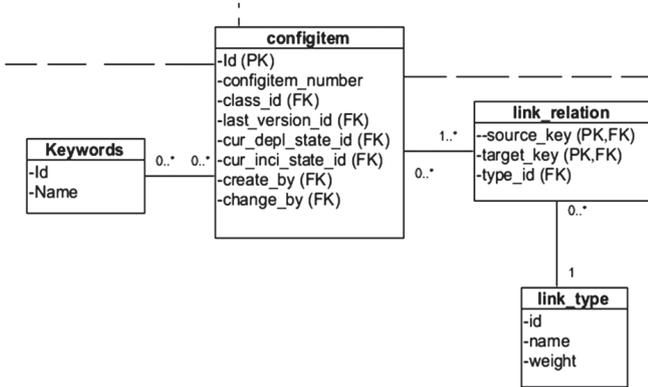


Рис. 3. Підсхема даних для розширення функціональності типової CMDB

2.3 Узагальнена схема пошукових алгоритмів

Як показано в [6], для пошуку КО може бути використано декілька алгоритмів: алгоритм все-направленого (omni-directional) та направленого (directed) пошуків. На вхід кожного з алгоритмів подається список ключових слів, виділених попередньо з опису інциденту. Кожен з цих слів оцінюється з точки зору релевантності, ця оцінка r , з інтервалу $[0;1]$ може бути отримана на етапі аналізу повідомлення про інцидент (див. рис. 1). Загальна схема цього процесу показана на рис. 4. При цьому вибирається глибина пошуку на графі опису КО, що є, в свою чергу, певною конфігурацією КФ, а також максимально можлива кількість КО, тобто величина n_{max} . Також, в залежності від алгоритму, може бути використаний коефіцієнт α , що задається на інтервалі $[0;1]$ та вибирається таким чином, аби значення добутку значення релевантності ключового слова та відповідних вагових коефіцієнтів, належало до інтервалу $[0;1]$.

Визначена таким чином оцінка релевантності RR для кожної КО може бути отримана за наступною формулою

$$RR = r * \prod_{0 \leq i \leq rd} \frac{w_i(rel_type)}{a} \quad (1)$$

Пошук на графі реалізовано за допомогою рекурсивної функції, яка виконує пошук на графі з параметром глибини пошуку, а отримані таким чином результати потім складаються. Тоді для кожної конфігураційної одиниці знаходиться

релевантність. $w_i(rel_type)$ – це нормована вага зв'язку, що знаходиться на інтервалі $[0;1]$. Також може бути введено обмеження на величину RR деяким пороговим значенням c_n / β , де c_n – значення релевантності деякої КО, і тоді відповідне значення RR визначається формулою

$$RR = c_j * \prod_{0 \leq i \leq rd} \frac{w_i(rel_type)}{a} > \frac{c_n}{\beta} \quad (2)$$

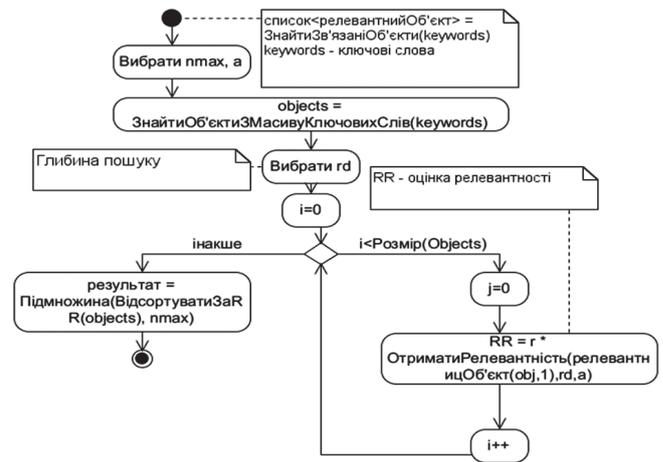


Рис. 4. Узагальнена схема пошукових алгоритмів

Якщо ж об'єкт КО пов'язаний з багатьма ключовими словами, його значення релевантності є сумою окремо порахованих для кожного ключового слова релевантностей за формулами (1)-(2). При цьому коефіцієнти α та β , а також максимальний розмір кількості об'єктів визначаються дослідним шляхом.

3. Програмна реалізація та тестування альтернативних алгоритмів пошуку в CMDB

3.1 Вибір технологій та проектування програмного компонента тестування CMDB

В якості програмного засобу для тестування алгоритмів було використано СКБД MS SQL Server 2008 [8], яка надає широкі можливості для відпрацьовування SQL-запитів і дозволяє використовувати інструменти відстеження часу виконання запитів з боку інших програм. Відповідний програмний компонент був спроектований таким чином, аби мати можливість задавати параметри окремих алгоритмів і тестувати їх ефективність.

3.2 Інтерфейс користувача та тестовий приклад

Для дослідження ефективності розглянутих вище алгоритмів використовувались тестові дані, які утворюють граф КФ, який наведено на рис. 5. Вузлами на цьому графі є окремі КО, а відповідними дугами вказані зв'язки, їх напрямок та тип. Для кожної КО також вказуються ключові слова, так, наприклад, для КО Windows 7 можна записати такі ключові слова, як «OS, Windows» та ін.

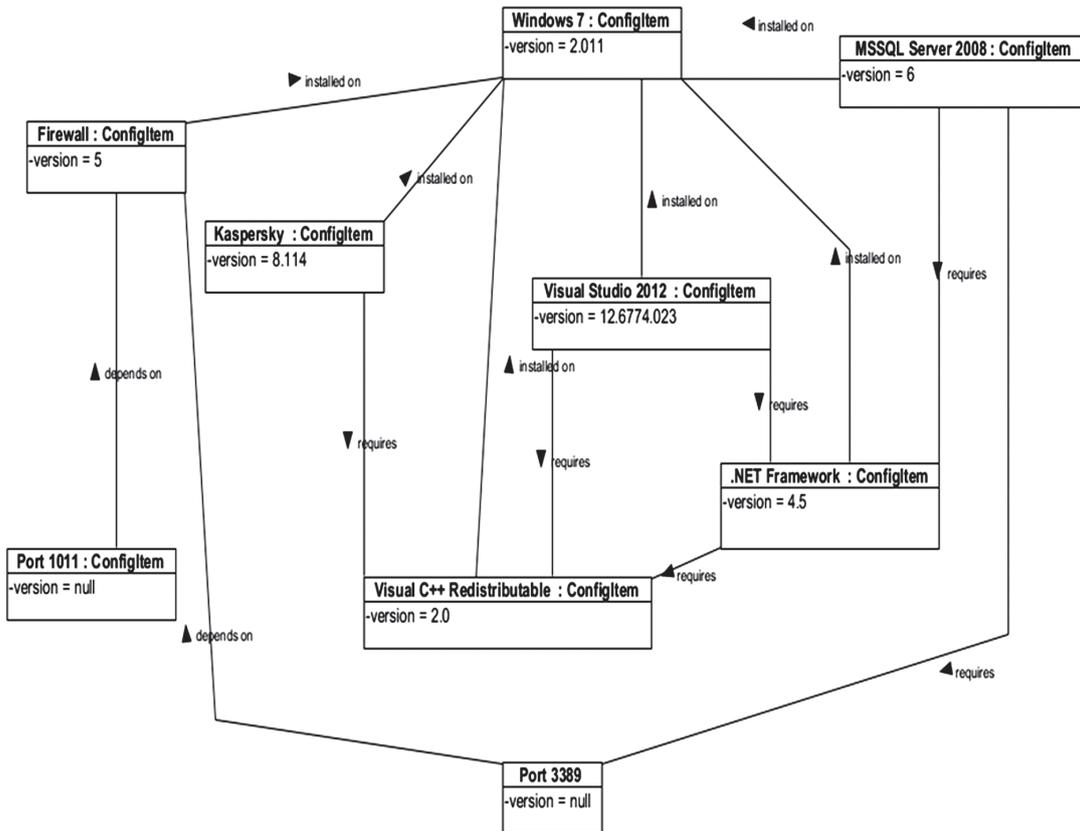


Рис. 5. Граф конфігурації для тестового прикладу

Інтерфейс користувача компонента тестування дозволяє інтерактивно задавати глибину пошуку *nmax* та вводити різні ключові слова. В результаті виконання алгоритму формується список КО, які відсортовані за спаданням значення оцінки їх релевантності *RR.*, і приклад такого списку для все-направленого пошуку наведено на рис. 6.

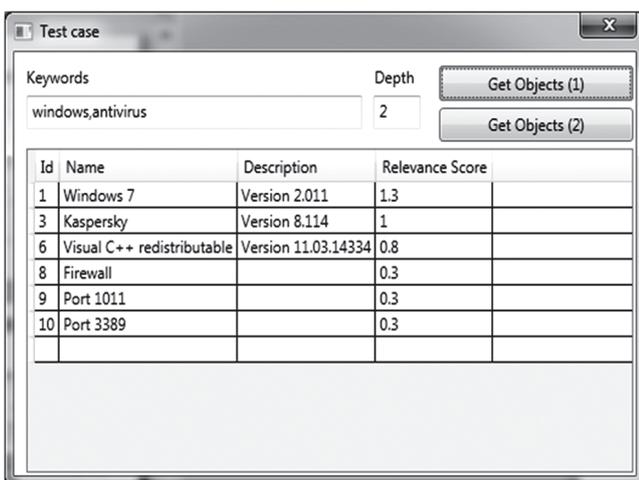


Рис. 6. Інтерфейс компонента для тестування алгоритмів

Для реалізації роботи алгоритму направленного пошуку спочатку формується шаблон пошуку. Це граф, вузли котрого складають певні класи КО, такі, як, наприклад, «операційна система», «антивірус», «порт локальної мережі» та ін. Такі шаблони

складаються експертами на основі аналізу прецедентів і один з можливих прикладів представлено на рис. 7.

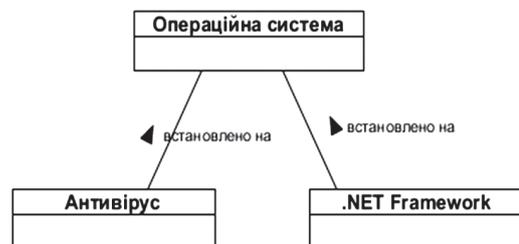


Рис. 7. Шаблон пошуку в базі даних

В подальшому розглянуті вище альтернативні були протестовані з метою оцінки їх ефективності.

3.3 Аналіз отриманих результатів

На основі аналізу тестових пошукових запитів до CMDB були отримали статистичні дані, що доводять вищу ефективність алгоритму направленного пошуку. Відповідні результати обчислювального експерименту наведені в табл. 1. В ній параметр *Depth* визначає глибину пошуку, тобто вказує на кількість рівнів на графі конфігурацій (див. рис. 4), які належать до області цього пошуку. При цьому кількість відповідних елементарних SQL-запитів, що є необхідними для виконання відповідних тестових пошукових запитів, була розрахована на основі аналізу процесу обробки CMDB за допомогою стандартного засобу SQL Server Profiler [8]. Фрагмент даних результатів цих тестів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількість запитів до бази даних
при різній глибині пошуку

Алгоритм	Depth=1	Depth=2	Depth=3
Всенаправленого пошуку	9	18	23
Направленого пошуку	9	11	15

З аналізу результатів цього експерименту видно, що із зростанням глибини пошуку на графі конфігурацій використання алгоритму направленого пошуку стає більш ефективним приблизно на 35-40%. В той же час необхідно відмітити, що для повного аналізу цієї проблеми необхідно врахувати також і деякі інші фактори, такі, як, наприклад, кількість ключових слів та їх релевантність (див. формули (1)-(2)).

Висновки

В даній статті розглянуто деякі актуальні питання підвищення ефективності використання баз даних управління конфігураціями (CMDB) в системах автоматизації надання корпоративних ІТ-послуг і, зокрема, побудована узагальнена схема застосування пошукових алгоритмів для опрацювання інцидентів, що виникають в таких системах. Експериментально досліджена порівняльна ефективність застосування двох альтернативних пошукових алгоритмів і зроблено висновки щодо доцільності їх використання в різних пошукових конфігураціях. У подальших дослідженнях заплановано розширити кількість параметрів пошукових алгоритмів, які мають вплив на їх ефективність, та розробити більш зручний програмний засіб для проведення таких експериментів.

Список літератури: 1. ISO/IEC 20000-1,2. Information Technology-Service Management, Part 1, 2: Geneva, Switzerland: ISO/IEC (2005). 2. Ткачук М. В. Розробка методики комплексної оцінки ефективності впровадження систем управління ІТ – інфраструктурою організацій / М. В. Ткачук, В. Є. Сокол, О. В. Черкашенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 30. – С. 94-104. 3. Глоссарий

стандарта ITIL v3 [Електронний ресурс] - Режим доступу : www/URL: http://itsmforum.ru/ZAM-test/Russian_2011_Glossary_v2.0.pdf - 5.01.2014 р. 4. The CMDB the central IT – repository [Електронний ресурс] - Режим доступу : www/URL: http://doc.otrs.org/itsm/1.2/en/html/ch06.html 5.01.2014 р. 5. Александров А. Конкретно о CMDB / А. Александров // Открытые системы. – 2007. – №6. – С. 45–51. 6. Gupta R. Automating itsm incident management process / R. Gupta, K. Prasad, and M. Mohani // Autonomic Computing, 2008. ICAC '08. International Conference on, pp. 141-150, June 2008. 7. Ayat M. CMDB Implementation Approaches and Consideration in SME/SITU's Companies / M. Ayat, M. Sharifi, S. Sahibudin // 2009 Third Asia International Conference on Modeling & Simulation, pp. 381-385, May 2009. 8. OTRS IT Service Management Software Возможности [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.otrs.com/software/otrsitsm-features/?lang=ru](http://www/URL: http://www.otrs.com/software/otrsitsm-features/?lang=ru) 6.01.2014. 9. SQL Server Profiler [Електронний ресурс] - Режим доступу: www/URL: http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ms181091.aspx 5.05.2014

Надійшла до редколегії 19.03.2014

УДК 681.518:658.51

Модели и алгоритмы обработки инцидентов в системах автоматизации корпоративных ИТ-услуг на основе использования базы данных управления конфигурациями / В. Е. Сокол, Н. В. Ткачук, М. А. Кузнецов // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 74–79.

В статье рассмотрены подходы к применению баз данных управления конфигурациями для решения задач обработки проблемных ситуаций в работе пользователей корпоративных ИТ-услуг. Предложен обобщенный алгоритм и расширенная модель данных для повышения эффективности применения этой технологии.

Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

UDK 681.518:658.51

Models and tools for incidents handling in corporative IT-Services automating systems based on configuration management database / V. Y. Sokol, N. V. Tkachuk, M. A. Kuznetsov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 74–79.

In this article some approaches to usage of configuration management databases to handle problem situations by users of corporative IT-services are considered. The generalized algorithm and extended data model are proposed, which increase an efficiency to apply this technology.

Fig. 6. Ref.: 9 items.

УДК 004.738.5; 519.6 : 616-073.75; 004.932.2

О. О. Скопа¹, О. О. Фразе-Фразенко²^{1,2}ОНЕУ, м. Одеса, Україна, ¹skopa2003@ukr.net, ²fraze@ukr.net

ВИБІР МЕТОДИКИ ТА РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ ПОМИЛКОВОГО ПРОПУСКУ ТА ПОМИЛКОВОЇ ВІДМОВИ ДОСТУПУ У СИСТЕМАХ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У практиці обробки зображень завдання пошуку відповідності за біометричними даними отримало велике поширення та відоме як проблема «пошуку за зразком». Формально проблема розглядається як процес ототожнення еталонного зображення з одним з множини образів фрагментів, що лежать у заданій області другого зображення. Алгоритми встановлення подібності в основних варіантах тією чи іншою мірою пов'язані з отриманням характеристик стохастичного взаємозв'язку порівнюваних фрагментів зображень. Усі вони ґрунтуються на ідеях кореляційної та спектральної теорії сигналів. Однією із мір подібності зображень, яка характеризує якість роботи біометричної системи ідентифікації, є визначення коефіцієнтів помилкового пропуску та помилкової відмови доступу. Одна з таких меток розглядається у статті.

FAR, FRR, БІОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ЗОБРАЖЕННЯ, МІРА ПОДІБНОСТІ, СТАТИСТИЧНА ВЛАСТИВІСТЬ

Вступ

Завдання аналізу та розпізнавання зображень у системах доступу до технологічних систем та мереж на сьогодні не має достатньо ефективних рішень: точність розпізнавання варіюється від 60 до 70%. Це потребує розробки та синтезу нових методів та алгоритмів аналізу зображень складних об'єктів на основі сучасного програмно-математичного підходу. Для систем ідентифікації, які розпізнають об'єкти на цифровому зображенні, найбільш корисною інформацією є відомості про контури, тобто про лінії, що проходять на границях однорідних областей. Вважається, що такими областями є об'єкти, для яких різниця яскравостей будь-яких двох елементів зображення (пікселів, групи пікселів) не перевищує певного порогу. Тому, по завершенні попередньої обробки зображення система розпізнавання в першу чергу робить пошук контурів зображення. За результатами пошуку послідовним порівнянням отриманих результатів з інформацією, яка є у відповідних базах даних, визначається ідентичність двох зображень. На основі цього приймається управляюче рішення щодо надання дозволу на доступ об'єкта ідентифікації до систем з обмеженим доступом.

На жаль, біометричні технології ідентифікації, наприклад, по обличчю або по його термограмі, надзвичайно чутливі до зовнішніх умов, тобто освітленості, поворотів голови, кутів її нахилу і т.п. Це призводить до того, що така технологія характеризується низьким відсотком успішного розпізнавання користувачів та найвищим відсотком помилкових спрацьовувань. У цьому випадку для якості її роботи використовують два критерії:

1. FAR (англ.: *False Acceptance Rate*, FAR) – коефіцієнт помилкового доступу, який є процентним показником випадків, при яких перевірка особи виявилася помилково успішною.

2. FRR (англ.: *False Rejection Rate*, FRR) – коефіцієнт помилкової відмови в доступі, який є процентним показником випадків, при яких перевірка особи помилково завершилася невдачею.

Таким чином, виходячи зі сказаного, вибір методики та розрахунок FAR та FRR для систем біометричної ідентифікації, є актуальною науковою та практичною проблемою.

Проблема автоматичного аналізу форми та стану просторових об'єктів, інформація про які представлена у вигляді плоских зображень, є актуальною для систем забезпечення превентивної безпеки. Зазначеній проблемі достатньо приділяли увагу зарубіжні вчені, включаючи вчених країн СНД, а саме: Т. Kanade та В. Lucas (Канада), У. Претт, М. Kaas, А. Witkin, D. Terzopoulos, S. Arulampalam, R. Gonzalez, R. Woods (США), М. Rachuta, В. Wilamowski, А. Malinowski (Польща), Б. Залеський, О. Ферцев, О. Кравчонок, Я. Фурман, А. Кравецький, Р. Хафізов, Н. Соловйов, О. Сергеев, М. Красильников (Росія) та ін., у роботах яких не останню позицію займали питання визначення та розрахунку FAR та FRR.

В Україні багато організацій також працює в області цифрової обробки біометричних сигналів. Серед цих організацій є три потужних колективи, що проводять повний цикл робіт у галузі розпізнавання, починаючи від комплексних досліджень проблеми та закінчуючи виготовленням дослідних і серійних зразків спеціальної апаратури. До таких колективів відносяться Інститут кібернетики та Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Інститут математики РАН та Інститут технічної кібернетики АН Білорусії. В першу чергу, необхідно відзначити дослідників Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України, та серед них – дослідження Б. Русина, які присвячені розробці нових

підходів до побудови біометричних систем аутентифікації та криптографічного захисту, розробці нової системи інформативних ознак зображень людини та методи їх ідентифікації.

Виходячи з того, що алгоритми встановлення подібності зображень, які в основних варіантах пов'язані з отриманням характеристик стохастичного взаємозв'язку порівнюваних фрагментів зображень, поточною *метою* є показ однієї з методик визначення коефіцієнтів помилкового пропуску та помилкової відмови доступу, що характеризують якість роботи біометричної системи ідентифікації.

1. Передумови та вибір методики розрахунку FAR та FRR

Як відзначено у численних літературних джерелах, включаючи [1], процес біометричної ідентифікації складається з комбінації викликів двох базисних функцій нижнього рівня програмного інтерфейсу:

1) створення біометричного шаблону з біометричного зразка;

2) порівняння біометричних шаблонів.

Проведені попередні дослідження дозволили встановити, що результатом біометричного порівняння є число, тобто міра подібності: чим вищою вона є, тем вищою є ймовірність того, що пред'явлені для порівняння зразки належать одній людині. Згідно з [1], вхідними даними біометричного порівняння є пара цифрових біометричних шаблонів і міра подібності шаблонів. Залежність міри подібності від вхідних шаблонів і біометричних зразків – величина детермінована. У реальній експлуатації систем розпізнавання процес отримання зразків біометричних характеристик залежить від зовнішніх факторів, що привносить свої погрішності (наприклад, забруднені ділянки, вологість, температура, дефекти поверхні пристрою сканування, різноманітні шуми і т.д.). Отже, виходячи з цього, для моделювання невизначеності таких факторів доцільним є використання ймовірно-статистичних методів. При цьому вихідний сигнал біометричного порівняння повинен бути випадковим.

В [1] показано, що біометричне порівняння характеризується двома розподілами міри подібності $f^{gen}(x)$ в «своїх» порівняннях, коли отримані зразки біометричної характеристики однієї людини, і $f^{imp}(x)$ – в «чужих» порівняннях, коли порівнюються біометричні зразки різних людей.

Як вже зазначалося, показники ефективності біометричних систем, це FAR та FRR. При цьому FAR є імовірністю помилки 2-го роду, а FRR – імовірністю помилки 1-го роду. Помилки FAR та FRR в імовірнісній інтерпретації при фіксованому порозі t ухвалення рішення можна обчислити за формулами:

$$FRR(t) = \int_{-\infty}^t f^{gen}(s) ds ; FAR(t) = \int_t^{+\infty} f^{imp}(s) ds .$$

Якщо розглядати біометричну систему цілком, включаючи спотворюючі фактори, то вона є стохастичною, але в ній існує детермінована підсистема.

Розглянемо загальний випадок мультибіометричної ідентифікації та можливості її використання для розв'язку завдань, винесених у заголовок роботи.

При мультибіометричній ідентифікації вихідні сигнали біометричних порівнянь інтегруються у мультибіометричну міру подібності λ , яку, як правило, вважають функцією G відгуків біометричних порівнянь, тобто $\lambda = G(x_1, \dots, x_n)$, де x_i – результат i -го біометричного порівняння. Функція G повинна бути скалярною, тому що мультибіометрична система підпадає під вимоги до біометричних систем у цілому. Відповідно, при ідентифікації можна порівнювати λ з деяким порогом і ухвалювати рішення про ідентифікацію.

Якщо входи мультибіометричного порівняння x_i мають стохастичний характер, то це вірно й для результату $\lambda = G(x_1, \dots, x_n)$. Таким чином, мультибіометричну ідентифікацію можна розглядати як систему, де за вхідні сигнали приймаються відгуки біометричного порівняння, а за вихідні – результуюча міра подібності. Вагова функція G повністю визначає властивості такої моделі.

При розробці технології мультибіометричної ідентифікації слід накласти певні обмеження на G з метою максимізації цільового критерію якості мультибіометричної ідентифікації. Типовими критеріями якості можна обрати різні співвідношення помилок 1-го, 2-го роду та часу мультибіометричного порівняння.

2. Визначення статистичних властивостей біометричних порівнянь

Якщо розподіли біометричних порівнянь відомі та визначені спільними щільностями $f^{gen}(x_1, \dots, x_n)$ та $f^{imp}(x_1, \dots, x_n)$, то статистика $\lambda = \ln f^{gen} - \ln f^{imp}$ дає мультибіометричну міру подібності з мінімальними помилками ідентифікації 1-го та 2-го роду [2, 3]. Відповідно, λ також максимізує довільний функціонал якості, монотонний по помилках 1-го та 2-го роду. Розв'язок завдання може бути знайдено у такий спосіб [1]:

$$G(x_1, \dots, x_n) = \ln f^{gen}(x_1, \dots, x_n) - \ln f^{imp}(x_1, \dots, x_n) .$$

Таким чином, завдання визначення оптимальної міри подібності можна звести до завдання оцінювання щільностей «своїх» та «чужих» біометричних порівнянь. Але на етапі навчання мультибіометричної системи (тобто на етапі визначення розподілів біометричних порівнянь), як правило, доступна досить обмежена інформація для оцінки

статистичних властивостей біометричних систем. Це пояснюється наступним:

1) При використанні емпіричних частот як оцінок дійсних функцій розподілу спостерігається сильна залежність від навчальної вибірки та значна дисперсія результатів навчання.

2) Слід враховувати, що мультибіометричні технології застосовують для отримання прийнятної якості роботи системи розпізнавання на дуже низьких рівнях помилки 2-го роду – від 10^{-6} . Відповідно, досить непростюю проблемою є верифікація результатів. При цьому дуже важливим частковим завданням інтеграції вважається екстраполяція помилок 1-го та 2-го роду на значення, які неможливо перевірити в ході випробувань технічних пристроїв розпізнавання. Наприклад, у системах з великим числом користувачів необхідно забезпечити помилку 2-го роду на рівні 10^{-9} і менше. У такому випадку для перевірки результатів необхідна база даних обсягом приблизно 10^9 записів, якої на сьогоднішній день у відкритому доступі не знайдено.

3) Навіть при прийнятті певних допущень про динаміку помилок розпізнавання дисперсія прогнозу зі зменшенням рівня FAR росте неприйнятними темпами. Аналогічна ситуація спостерігається для більшості мультибіометричних технологій [1, 15]. Основна причина цього полягає у нездатності емпіричних щільностей до узагальнення на генеральну сукупність. Зі зменшенням навчальної вибірки довірчий інтервал для щільностей розширюється. Відповідно, якість ідентифікації буде менш передбачуваною, що показано у роботі [2].

4) Для багатьох комбінацій біометричних характеристик недоступні мультибіометричні дані, що принципово не дозволяє проводити оцінку багатомірних щільностей. На сьогодні доступні кілька десятків одномодальних біометричних баз. При цьому існуючих мультибіометричних баз даних явно недостатньо для дослідження якості ідентифікації та навчання у мультибіометричних технологія. Тому важливою проблемою є використання навчальної інформації з окремих каналів. Ця ідея була покладена в основу отримання результатів при розрахунках FAR та FRR. Тут відзначимо, що одномодальних біометричних баз, які містять термограми людей, у відкритому доступі не знайдено. З метою моделювання та отримання практичних результатів використано штучно створену базу даних обсягом 2^{16} об'єктів, що при розрахунках дозволило забезпечити помилку 2-го роду на рівні 10^{-5} .

5) Використання емпіричних частот призводить до виникнення простору, який не параметризується, що підвищує ймовірність неадекватного навчання. З врахуванням викладеного в п. 4, відзначимо, що результати випробувань, які

виконувалися при проведенні досліджень (числові та графічні дані наведені далі), не дозволяють з повною впевненістю стверджувати про статистичну незалежність результатів біометричних порівнянь. Для підтвердження або спростування даного положення необхідно мати величезний тестовий масив біометричних вимірів, якого на даний момент не має жодна організація. Однак можна припустити, що біометричні термохарактеристики людини, які досліджувалися, є незалежними і, отже, біометричні порівняння також є незалежними. Таким чином, якщо результати незалежні, то щільності розподілів у «своїх» та «чужих» порівняннях факторизуються у такий спосіб:

$$f^{gen}(x) = f_1^{gen}(x_1) \cdot \dots \cdot f_n^{gen}(x_n);$$

$$f^{imp}(x) = f_1^{imp}(x_1) \cdot \dots \cdot f_n^{imp}(x_n),$$

де $f_i^{gen}(x_i)$ та $f_i^{imp}(x_i)$ – щільності розподілу i -го біометричного тесту.

Вираз для оптимальної міри подібності для незалежних біометричних характеристик можна представити у такий формі:

$$G(x) = \ln f^{gen}(x) - \ln f^{imp}(x) =$$

$$= \sum_{i=1}^n (\ln f_i^{gen}(x_i) - \ln f_i^{imp}(x_i)) = \sum_{i=1}^n g_i(x_i),$$

де $g_i(x_i) = \ln f_i^{gen}(x_i) - \ln f_i^{imp}(x_i)$.

З наведеного виразу видно, що підсумкову міру подібності можна обчислити через функцію, що залежить тільки від властивостей рівно одного біометричного порівняння. Отримавши цей результат, його можна застосувати для розрахунків FAR та FRR. При цьому врахуємо рекомендації [4], де показано, що якість розпізнавання може бути поліпшена з ростом числа зразків, взятих при навчанні, а це – в ідеалі – може привести до досягнення деякої граничної якості розпізнавання, що задається параметром $r_{пор}$. Останнє пов'язане з тим, що при зростанні числа зразків, особливо отриманих у різний час, компенсується негативний вплив зовнішніх факторів [5]. З погляду правила ухвалення рішення, зразки рівноцінні. Отже, на щільності розподілу та на вирішальні правила слід накласти умову симетричності по змінним, тобто:

$$\forall i, j \quad f^{gen}(x_1 \dots x_i \dots x_j \dots x_n) = f^{gen}(x_1 \dots x_j \dots x_i \dots x_n),$$

$$\forall i, j \quad f^{imp}(x_1 \dots x_i \dots x_j \dots x_n) = f^{imp}(x_1 \dots x_j \dots x_i \dots x_n).$$

3. Методика розрахунку FAR та FRR

FRR (помилкова тривога) – імовірність помилок 1-го роду – не настільки критична для системи безпеки, хоча і створює незручності, оскільки доводиться проходити верифікацію вдруге. Від FAR (пропуск події) – імовірність помилок 2-го роду, – в результаті яких зловмисник може отримати доступ до системи, залежить надійність системи

захисту від несанкціонованого доступу. Поява помилок FRR та FAR визначається такими характеристиками, як якість і роздільна здатність системи реєстрації, розмір області фіксації (сканування) об'єкта, математичні алгоритми, використовувані для порівняння зображень (контурів), кількість деталей, які застосовуються для порівняння.

Як правило, частота виникнення помилок FRR вище частоти виникнення FAR-помилки. Так, згідно з [6], ймовірність виникнення FRR-помилки, у середньому, становить менше 2%, а ймовірність FAR-помилки – менше 0,0001%.

З метою перевірки результатів щодо розпізнавання біометричних контурів термограми обличчя людини на предмет відповідності зазначеному, покажемо методику проведення розрахунків так, як це зазначено нижче.

Дотримання умов вірогідності виявлення співпадіння потребує встановлення порогу для величини взаємної кореляції $\max \bar{r}(k,l)$. Якщо $\max \bar{r}(k,l) \geq r_{\text{пор}}$, то з заданою ймовірністю гарантується дійсна подібність знайденої пари фрагментів. Отже, у якості змінної величини можна обрати $r_{\text{пор}} \in [\Delta_i; \Delta_{i+1}; \dots; \Delta_n]$, де $n = 10$. Крок зміни Δ можна встановити рівним 0,1. У багатьох публікаціях зазначається, що така величина є достатньою для оцінки динаміки змін FAR та FRR при зміні $r_{\text{пор}}$ та дозволяє з достатньою точністю візуально відобразити отримані результати. Точно розраховані значення FAR та FRR можуть бути відображені у вигляді таблиць. Зазначимо, що разом зі знаходженням значень FAR та FRR доцільним є визначення значення FTE. При цьому, відповідно до [7], FTE – це «Помилка реєстрації» (англ.: *Failure to Enroll Rate*, FTE). У числовому значенні – це відсоток об'єктів, які не володіють можливістю зареєструватися в системі. FTE може бути визначена для кожного об'єкта окремо. Якщо об'єкт взагалі не може бути зареєстрований у системі або після реєстрації не може бути розпізнаний, такий випадок відноситься до ймовірності помилки збору даних (англ.: *Failure to Acquire Rate*, FTR).

FTE розраховується для кожного об'єкта окремо – $FTE(n)$ – як кількість неуспішних спроб реєстрації стосовно загального числа спроб реєстрації.

Для отримання загального FTE всі персональні показники можуть бути зведені до середнього значення: $\overline{FTE} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N FTE(n)$.

З метою моделювання та отримання практичних результатів була використана штучно створена база даних $[FTE(n)]$, де $n = 2^{16}$ об'єктів. Вмістом $[FTE(n)]$ були штучно спотворені бінарні зображення, нормовані у базисі площини 512×512 пікселів. Еталонні зображення об'єктів приведено на рис. 1. Спотворення моделювалися афінними перетвореннями [8].

Отримання кожного значення $FTE(n)$ проводилося методом визначення усередненого показника взаємної кореляції кожного еталонного об'єкта заданого типу з кожним афінно-спотвореним значенням з ансамблю фігур $[FTE(n)]$ при кількості повторів $K_{\text{повт}} = 4$. При цьому було показано, що використання $K_{\text{повт}} > 4$ не веде до суттєвого покращення отриманих даних (рис. 2). Повтором вважалася дія порівняння еталонного зразка з відповідним об'єктом з загальної бази даних.

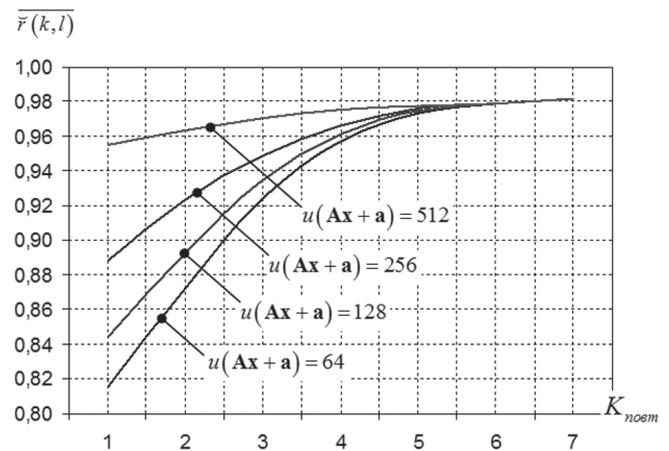


Рис. 2. Залежність усередненого показника взаємної кореляції ансамблів довільних фігур у залежності від кількості повторів $K_{\text{повт}}$

Кожен об'єкт, отриманий методом афінних спотворень, перед занесенням у базу даних був оброблений методом компенсації спотворення геометрії зображення. При ідентифікації позитивним вважалася таке значення, яке відповідало

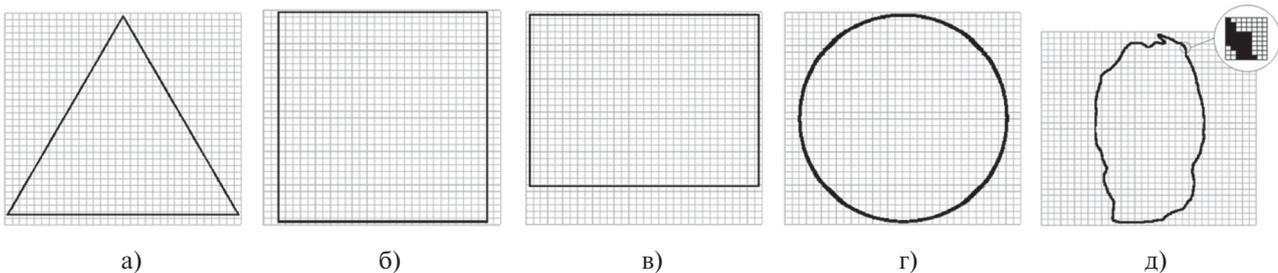


Рис. 1. Приклади фігур у вигляді бінарних зображень нормованих у базисі площини 512×512 пікселів (тут обмежено до площини 256×256 пікселів): а) трикутник; б) квадрат; в) прямокутник; г) коло; д) нормована фігура (контур термозображення обличчя людини)

вимогам, що наведені у строчці 5 табл. 1. У такому разі $FTE(n)$ вважалося таким, що дорівнює «1».

Таблиця 1 [9]

Словесний опис величини коефіцієнта кореляції

№	Значення коефіцієнта кореляції $\bar{r}(k,l)$	Інтерпретація
1	$0 < \bar{r}(k,l) \leq 0,2$	Надзвичайно слабка кореляція
2	$0,2 < \bar{r}(k,l) \leq 0,5$	Слабка кореляція
3	$0,5 < \bar{r}(k,l) \leq 0,7$	Середня кореляція
4	$0,7 < \bar{r}(k,l) \leq 0,9$	Сильна кореляція
5	$0,9 < \bar{r}(k,l) \leq 1,0$	Дуже сильна кореляція

З метою повного розуміння суті питання та для пояснення застосування вищевикористаних позначень відзначимо, що еталонне зображення A (або його вибраний фрагмент) представлялося матрицею U_0 розміром $n \times n$, та порівнювалося з зображенням B (або його вибраним фрагментом) в «зоні пошуку» $|$ розміром $L \times L$, де $L = m + n$. Перекриття між зображеннями визначалися кроком h дискретних ґрат hZ^2 у площині P^2 , на яких були задані спостережувані змінні $\{u_0(x), x = (x, y)\}$ на зображенні A або $\{u(x)\}$ на зображенні B .

У процесі ковзного пошуку, коли кожний черговий фрагмент отримувався з попереднього простим зрушенням на один дискрет (піксель), обчислювалася «функція подібності» між зображенням еталонного фрагмента $\{u_0(x), x \in \Gamma_A\}$ та зображеннями поточних (контрольованих) фрагментів $\{u(x), x \in \Gamma_B\}$. Метою було знаходження функції подібності, яка б з максимально можливою точністю та вірогідністю дозволяла локалізувати фрагмент, що відповідає еталонному фрагменту, фіксуєючи в такий спосіб сумісні точки на зображеннях.

Взаємно відповідні елементи одного об'єкта на зображеннях задовольняли співвідношенню:

$$u_0(x, y) = (au(x + k, y + l) + b) \text{rect}\left(\frac{x}{n}, \frac{y}{n}\right) + \varepsilon(x, y), \quad (1)$$

де a та b – параметри контрасту та освітленості; k та l – параметри відносного зрушення зразка та його аналога на контрольованому зображенні;

$$\varepsilon(x, y) - \text{шум}; \text{rect}\left(\frac{x}{n}, \frac{y}{n}\right) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq n, y \leq n; \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

У такому формулюванні, як це показано у вигляді (1), процедура селекції зразка повинна була знайти параметри k та l , які характеризують зрушення реперних фрагментів. Для простоти вважали, що параметр b не міняється по полю зображень, що дозволило перейти до центрованих змінних:

$$\bar{u}(x, y) = u(x, y) - \bar{u}, \bar{u} = \frac{1}{L^2} \sum_{(x,y) \in \Omega} u(x, y);$$

$$\bar{u}_0(x, y) = u_0(x, y) - \bar{u}_0, \bar{u}_0 = \frac{1}{n^2} \sum_{x,y=1}^n u_0(x, y).$$

У якості міри відмінності в точці (k, l) було обрано середньоквадратичну помилку:

$$\varepsilon_a^2(k, l) = \sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y) - a\bar{u}(x + k, y + l)]^2, \quad (2)$$

яка мінімувалася прямим перебором усіх можливих зрушень еталона по заданій області контрольованого зображення. Вважалося, що в точці екстремума реалізується подібність, якщо $\varepsilon_a^2(k, l) \leq \lambda$, де λ – деякий установлений поріг.

З вимоги мінімуму помилки $\varepsilon_a^2(k, l)'_a = 0$ було знайдено оцінку a і, після підстановки її у формулу (2) з [1] отримано вираз:

$$\varepsilon_a^2(k, l) = \sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y)]^2 - \frac{\left[\sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y)\bar{u}(x, y)] \right]^2}{\sum_x \sum_y [\bar{u}(x, y)]^2}. \quad (3)$$

Перший член з (3) – «енергія» еталонного сигналу. Він є величиною постійною, яка не залежить від параметрів зрушення (k, l) . Таким чином, точка екстремуму не змінювалася, якщо виконувалося нормування середньоквадратичної помилки до енергії еталона

$$\varepsilon_a^2(k, l) = 1 - \frac{\sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y)\bar{u}(x, y)]^2}{\sum_x \sum_y [\bar{u}(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y)]^2},$$

і замість мінімуму нормованої середньоквадратичної помилки знаходився максимум коефіцієнта кореляції поточного фрагмента з еталоном, тобто:

$$\bar{r}(k, l) = \frac{\sum_x \sum_y \bar{u}_0(x, y)\bar{u}(x, y)}{\left\{ \sum_x \sum_y [\bar{u}(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [\bar{u}_0(x, y)]^2 \right\}^{0,5}}.$$

Було підтверджено відоме положення про те, що дотримання умов вірогідності виявлення співпадіння призводить до необхідності встановлення порогу для величини взаємної кореляції $\max \bar{r}(k, l)$: якщо $\max \bar{r}(k, l) \geq r_{\text{пор}}$, то з заданою ймовірністю гарантується дійсна подібність знайденої пари фрагментів. Величина порогу визначена функцією розподілу коефіцієнта кореляції (при випадкових вибірках) та заданою довірчою ймовірністю ухвалення рішення про дійсну подібність фрагментів.

До цього моменту з'ясувався лише сам факт існування статистичної залежності між двома ознаками. Далі з'ясуємо, які висновки можна зробити про силу чи слабкість цієї залежності, а також про її вигляд та спрямованість.

Враховуючи вищезазначене, спочатку були проведені розрахунки FTE . Втім, при встановлених обмеженнях було отримано значення $FTE = 0$. Зміна $r_{\text{пор}}$ у сторону його більш м'яких вимог надала можливості встановити, що FTE дійсно

змінюється та не дорівнює «0». Було встановлено, що візуальне відображення залежності \overline{FTE} від $r_{\text{пор}}$ у вигляді графіка не має достатньої наочності. Відповідно, для отримання підтвердження методики розрахунку FTE за допомогою графічного редактора в ансамблі $[FTE(n)]$ були штучно спотворені $n_{\text{шт.спотв}} = 29$ об'єктів, які за попередньо отриманими даними, мали параметр $\bar{r}(k,l) \geq 0,9$. Результати розрахунку $FTE(n)$, що були отримані для всіх еталонних об'єктів, показаних на рис. 1, наведено у табл. 2. При цьому, з врахуванням штучних спотворень, було отримане значення $\overline{FTE} \oplus 3$ по всьому ансамблю $[FTE(n)] = 65536$. Це означає, що при виконанні процедури ідентифікації, у середньому 3 об'єктам було відмовлено в доступі як таким, для яких виникла помилка реєстрації, а загальна кількість об'єктів, яким було відмовлено у доступі, відображена у табл. 2, та відповідає $n_{\text{шт.спотв}} = 29$, що свідчить про дієздатність технології ідентифікації.

FRR для зареєстрованих у системі об'єктів, так само як і FTE, визначалася для кожного об'єкта окремо, оскільки вона може суттєво різнитися у різних користувачів. Більше того, FRR залежить не тільки від користувача, але й може мінятися з часом: як правило [7], цей показник зменшується в міру того, як користувач навчається працювати з системою. При цьому під поняттям «навчання роботи з системою» мається на увазі стабільне зростання випадків ідентифікації та аутентифікації об'єкта в системі доступу. У зв'язку з цим, при практичному використанні системи ідентифікації на основі біометричних даних рекомендується використовувати значення FRR для окремо «навчених» і окремо для «ненавчених» користувачів.

Перший етап – розрахунок FRR для кожного користувача окремо, при якому $FRR(n)$ обчислювалася як відношення кількості відмов у доступі до загальної кількості спроб. При цьому кількість відмов регулювалася величиною $r_{\text{пор}}$.

Другий етап – усереднення FRR для розрахунків загального значення, тобто $\overline{FRR} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N FRR(n)$.

З цієї формули видно, що очікувані значення будуть тим більше точними, чим більше об'єктів було притягнуто до процедури тестування системи ідентифікації. Відзначимо, що в реальних умовах існує багато причин, якими може бути обумовлене значення FRR: неправильне положення об'єкта перед пристроєм реєстрації, забруднення самого пристрою і т.д.

На FAR, так само як для FRR та FTE, при розрахунках було поширено поняття персонального FAR. Через статистичну природу цього параметра для отримання статистично надійного результату повинно бути зроблено багато спроб проходження. Як слідує з рис. 2, їх ефективна кількість $K_{\text{повт}} = 4$. Імовірність неправильного розпізнавання об'єкта $FAR(n)$, дані якого є в базі $[FAR(n)]$, розраховувалася за аналогією з $FRR(n)$ як відношення кількості успішних незалежних спроб розпізнавання об'єкта n до загальної кількості незалежних спроб. При цьому кількість відмов регулювалася величиною $r_{\text{пор}}$. У даному контексті «незалежний» означає, що всі спроби здійснені з різними об'єктами. Це пояснюється тим, що чим більше спроб зроблено, тим більше статистично надійними є отримані результати.

Загальний FAR обчислено як арифметичне середнє всіх персональних характеристик:

$$FAR = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N FAR(n).$$

Третій етап – установка режиму роботи програми обробки даних. Обрано «Режим ідентифікації». Було враховано, що при такому режимі на FAR та FRR впливає розмір бази даних і, отже, у кожному конкретному випадку можливо лише повторення результатів тільки у сенсі отримання загальних залежностей, а не табличних даних. Вибір режиму

Таблиця 2

Розрахунок $\overline{FTE}(n)$ для фігур рис. 1 з врахуванням компенсації спотворення геометрії зображення

$r_{\text{пор}}$	Рис. 1-а		Рис. 1-б		Рис. 1-в		Рис. 1-г		Рис. 1-д	
	$\bar{r}(k,l)$	$\overline{FTE}(n)$								
0,10	0,9859	1	0,9861	2	0,9865	2	0,9861	3	0,9107	0
0,20	0,9130	3	0,9136	5	0,9134	6	0,9137	5	0,8332	2
0,30	0,7651	0	0,7657	0	0,7658	0	0,7654	0	0,7113	0
0,40	0,7386	0	0,7394	0	0,7390	0	0,7390	0	0,6834	0
0,50	0,6061	0	0,6063	0	0,6065	0	0,6068	0	0,5665	0
0,60	0,5238	0	0,5245	0	0,5241	0	0,5245	0	0,4345	0
0,70	0,3482	0	0,3486	0	0,3486	0	0,3484	0	0,2811	0
0,80	0,2857	0	0,2864	0	0,2865	0	0,2859	0	0,2343	0
0,90	-0,0597	0	-0,0590	0	-0,0594	0	-0,0589	0	-0,1281	0
1,00	-0,0923	0	-0,0916	0	-0,0917	0	-0,0915	0	-0,1134	0

роботи програми обробки даних «Режим ідентифікації» пояснюється тим, що в режимі верифікації біометричний шаблон порівнюється тільки з одним шаблоном з бази, тоді як у режимі ідентифікації відбувається послідовне порівняння з усіма N шаблонами, що перебувають у базі даних. У результаті такого переходу значення FAR суттєво зростає та залежить від розміру бази даних, тобто $FTE_N = 1 - (1 - FAR_1)^N$, де $FAR(n)$ – значення FAR при базі даних об'єктів розміром N . Крім того, відзначимо, що якщо кількість об'єктів у базі даних збільшується, то це веде до зменшення значення FRR. Це відбувається тому, що зареєстрований об'єкт може бути пропущений по чужому ідентифікатору, що в розглянутому прикладі не є FRR. Тоді

$$FRR_N = FRR_1 (1 - FAR_1)^{N-1}.$$

4. Обговорення результатів

У відповідності до викладеного були розраховані значення FAR та FRR та представлені у вигляді таблиць, конвертованих у формат Excel-2003, які тут не приводяться у зв'язку з їх великими обсягами. Для отримання практичних результатів, згідно з рекомендаціями, приведеними у [10], було виконано наступне.

Будь-яку біометричну систему можна налаштувати на різний ступінь «пильності», тобто на різне значення FAR. Як вже зазначалося, це означає, що система буде налаштована на імовірність того, що

вона «поплутає» двох індивідуумів, визнавши «чужого» за «свого». Але зменшення FAR завжди призводить до зменшення чутливості методу або – що еквівалентно – до збільшення FRR, тобто ймовірності того, що система не розпізнає «знайомого» їй об'єкта. Таким чином, чим більш строго настроєна система на блокування «чужих», тим вона менш чутлива, а це значить, що вона гірше пропускає «своїх».

Залежно від конкретного завдання система може бути настроєна на певний компроміс між припустимими значеннями FAR та FRR. Для цього, з метою оцінки точності роботи загальної біометричної системи верифікації, прийнято використовувати характеристичну криву, яка в літературних джерелах відома, як ROC-крива (англ.: *Receiver Operating Characteristic, ROC*). Вона встановлює залежність між помилками 1-го та 2-го роду, тобто $FRR = f(FAR)$. З врахуванням отриманих значень FAR та FRR для різних $r_{пор} \in [\Delta_i; \Delta_{i+1} \dots; \Delta_n]$, де $n = 10$, такі залежності були розраховані та приведені у вигляді табл. 3, рис. 3 та рис. 4.

Як видно, ROC – це робоча характеристика системи, а більш точно – відносна робоча характеристика. Графік ROC – це візуалізація компромісу між характеристиками FAR та FRR. У загальному випадку порівняльний алгоритм приймає рішення на підставі порогу, який визначає, наскільки близько повинен бути вхідний зразок до шаблону, щоб вважати це збігом. Якщо поріг зменшується,

Таблиця 3

Розрахована залежність між помилками 1-го та 2-го роду

$r_{пор}$	$[FAR(n)]$									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$[FRR(n)]$	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471	99,471
	44,839	51,027	57,211	63,401	69,578	75,769	81,945	88,132	94,310	
	25,647	33,626	41,599	49,581	57,546	65,525	73,493	81,468	89,433	
	18,930	27,142	35,341	43,546	51,746	59,957	68,156	76,361	84,553	
	14,422	22,582	30,729	38,880	47,029	55,185	63,330	71,482	79,622	
	11,330	19,251	27,167	35,089	42,997	50,914	58,826	66,744	74,652	
	9,108	16,660	24,204	31,749	39,284	46,837	54,373	61,919	69,451	
	7,471	14,608	21,735	28,860	35,981	43,114	50,235	57,364	64,475	
	5,805	12,544	19,278	26,016	32,740	39,482	46,211	52,944	59,671	
	4,712	10,945	17,170	23,398	29,612	35,842	42,064	48,293	54,507	
	4,051	9,769	15,479	21,190	26,891	32,605	38,314	44,023	49,726	
	3,331	8,588	13,835	19,085	24,327	29,584	34,829	40,080	45,320	
	2,828	7,515	12,191	16,871	21,544	26,224	30,896	35,576	40,244	
	2,318	6,497	10,658	14,828	18,992	23,168	27,326	31,498	35,658	
	2,074	5,627	9,168	12,714	16,252	19,804	23,344	26,888	30,424	
	1,678	4,634	7,576	10,531	13,468	16,418	19,359	22,303	25,243	
	1,167	3,583	5,991	8,397	10,797	13,209	15,609	18,018	20,417	
	1,013	2,805	4,590	6,373	8,149	9,938	11,721	13,505	15,279	
	0,771	1,974	3,160	4,351	5,538	6,734	7,920	9,110	10,288	
	0,508	1,146	1,776	2,403	3,027	3,660	4,283	4,911	5,533	
0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	

то кількість помилкових розбіжностей також буде зменшуватися, але при цьому буде більше помилкових прийомів. Відповідно, високий поріг зменшить FAR, але збільшить FRR. Лінійний графік залежності свідчить про відмінності для високої продуктивності: менше помилок – рідше виникають помилки.

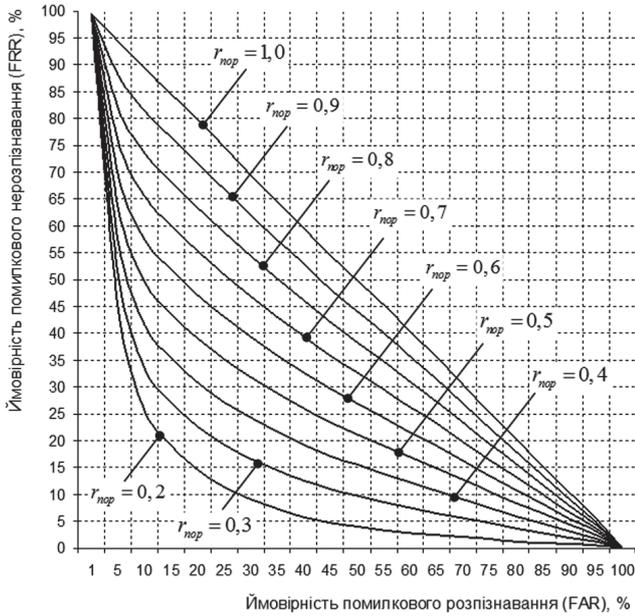


Рис. 3. Отримана залежність між помилками 1-го та 2-го роду при різних $r_{пор}$ для досліджуваних зображень (рис. 1)

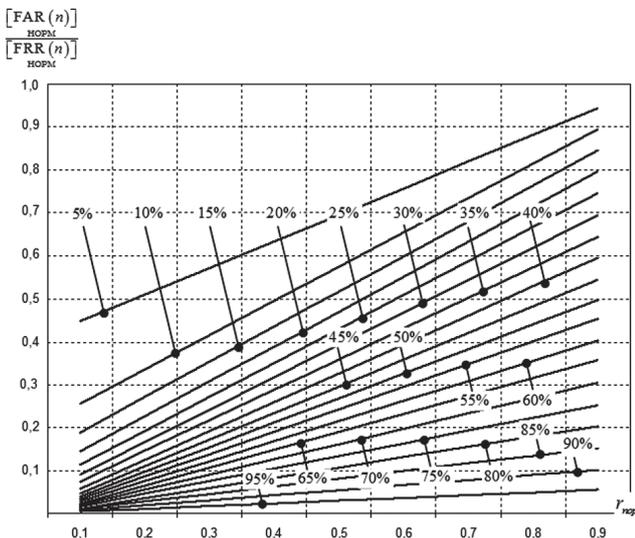


Рис. 4. Отримана нормована залежність співвідношення $\frac{[FAR(n)]_{НОРМ}}{[FRR(n)]_{НОРМ}}$ від значення $r_{пор}$ для досліджуваних зображень (рис. 1)

Як видно з рис. 3, обмеження, які відповідають верхній характеристичній кривій, є більш ефективними, ніж ті, які притаманні іншим характеристичним кривим.

При аналізі та порівнянні ROC-кривих важливим принципом є розуміння методики тестування, у результаті якої вони отримані. Зокрема:

- при яких умовах та у яких обставинах проводилося тестування;
- який був сценарій використання системи;
- яка вихідна сукупність об’єктів ідентифікації як по кількості, так і по складу була використана, і т.д.

Згідно з [10], отримані результати можна віднести до однієї з відомих методик, а саме – до методики технологічного тестування. Слід відмітити, що також існують методики сценарного та операційного тестування.

Результати, отримані при різних методиках тестування, можуть сильно різнитися для однієї й тієї ж системи. Зазвичай для будь-якого конкретного додатка є доцільною фіксація припустимого значення FAR, і тоді значення FRR буде інтегральним критерієм точності для даної системи.

З використанням ряду публічних звітів про результати тестування систем біологічної ідентифікації [11...13, 16-18], приблизні значення точності верифікації в режимі операційного тестування для основних біометричних методів та отримані дані для однофакторної біометричної технології забезпечення превентивної безпеки у системах управління доступом приведено у табл. 4.

При достатньо великих обсягах моделювання було помічено, що конкретні показники сильно варіюються залежно від використовуваного обладнання та погрішності тестування. Але при цьому встановлено те, що однофакторна біометрична технологія забезпечення превентивної безпеки у порівнянні з такими методами розпізнавання як по відбиткові пальця, по тривимірному зображенню особи та по райдужній оболонці ока, мають порівнянну точність, але розроблена технологія дозволяє отримати більш надійні дані щодо встановлення ідентичності об’єктів розпізнавання, поступаючись лише надзвичайно складним методам, які базуються на 3D-технологіях розпізнавання об’єктів.

Виходячи з даних, приведених у табл. 4, зробимо оцінку того, чи забезпечується достатня точність для рішення прикладних задач.

Як відмічається у [10], слід звернути увагу на те, що зазначена імовірність неправильного розпізнавання FAR відповідає випадку *верифікації*, тобто порівнянню двох біометричних шаблонів між собою. Для більшості практичних завдань точність, що досягається в цьому випадку при використанні кожного із методів, зазначених у табл. 4, цілком достатня.

У випадку *ідентифікації* імовірність неправильного розпізнавання FAR збільшується пропорційно кількості об’єктів у базі даних системи при

Таблиця 4

Точність верифікації для різних біометричних методів

Метод →	3D технологія	2D технологія	Відбиток пальця	Райдужна оболонка ока	Термограма обличчя
FAR, % ↓	FRR алгоритм A4Vision	FRR найкращий 2D-алгоритм	FRR стандартний сканер	FRR найкращий сканер	FRR однофакторна біометрична технологія
	%				
0,1	0,2	19	0,4	4,7	0,338
0,01	1,0	28	1,0	5,3	1,154
0,001	1,5	–	1,3	6,0	1,681
0,0001	–	–	–	–	3,015

тій же чутливості (FRR). Так, наприклад, якщо при FRR, яка дорівнює 1,3%, пальцевий стандартний сканер у режимі верифікації забезпечує FAR=0,001% – один шанс зі ста тисяч. В режимі ідентифікації при тому ж FRR та базі даних в 10000 об’єктів FAR=10% – один шанс із десяти [10]. У практичному використанні така ситуація вже є неприпустимою для більшості додатків.

Таким чином, у режимі ідентифікації при базах даних на 1000...2000 об’єктів деякі існуючі методи (по райдужці, пальцеві, 3D-фото, а також однофакторна біометрична технологія) забезпечують прийнятну точність для систем контролю доступу. При базах даних більше, ніж 2000 об’єктів, жоден з біометричних методів «у чистому вигляді» не може бути застосований для більшості завдань. Для деяких завдань прийнятні напівавтоматичні розв’язки, коли людина-оператор отримує список найбільш схожих людей і на цій основі ухвалює остаточний розв’язок.

За даними [14] та з посиланнями на *Electronic Privacy Information Center* максимальна ступінь розпізнавання у найкращій системі, яка нині знаходиться у експлуатації, досягає значення 61,4%. Ця цифра була обрана у якості опорної при порівнянні ефективності методів забезпечення спостереженості у технологічних системах спеціального призначення. Один з аналогічних результатів щодо ступеня розпізнавання на основі однофакторної біометричної технології забезпечення превентивної безпеки, який було отримано під час проведення численних математичних експериментів та який є характерним для всіх результатів, приведено у табл. 5 та візуально відображено на рис. 5. Для розрахунків використано методику, яка викладена у [10].

Висновки

Для збільшення точності в режимі ідентифікації доцільне використання декількох біометричних методів одночасно. Виходячи з аналогічних міркувань, Міжнародний підкомітет по стандартизації в області біометрії (ISO/IEC JTC1/SC37 Biometrics)

розпочав розробку єдиного формату даних для автоматичного розпізнавання осіб, що включає мультибіометричні методи та технології.

Значення FRR та FAR, од

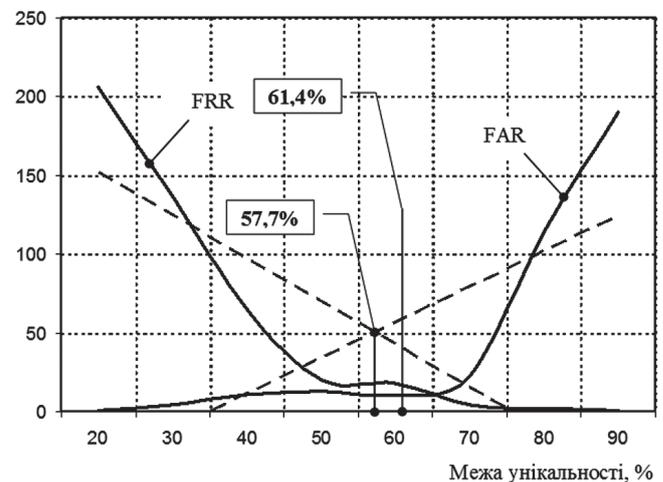


Рис. 5. Відповідність розрахованих співвідношень множин $[FRR(n)]$ та $[FAR(n)]$ загальновідомим даним

Таблиця 5

Значення FRR та FAR, які отримані при аналізі ступеня унікальності множин $[FRR(n)]$ та $[FAR(n)]$

Межа унікальності, %	FRR	FAR
20	206	1
30	137	4
40	65	11
50	20	13
60	18	10
70	4	22
80	2	114
90	1	190

Деякі виробники обладнання у галузі систем доступу, зважаючи на перспективу впровадження зазначеного стандарту, вже почали об’єднання кількох біометричних методів в один. Найімовірніше, незабаром розпізнавання особи з використанням кількох джерел інформації буде розглядатися як

один біометричний метод. Об'єднання окремих біометричних методів та технологій розпізнавання особи в єдиний мультибіометричний метод приведе до істотного поліпшення точності в порівнянні з тією, що можуть дати системи, у яких використовується тільки один з методів, а також дозволить об'єднати переваги окремих методів за іншими критеріями.

Список літератури: 1. *Сесин, Е. М.* Построение моделей идентификации личности, основанных на сравнении множества физических или поведенческих характеристик человека / Е. М. Сесин, В. М. Белов // Вестник СибГУТИ. – 2011. – №4. – С. 41-50. – ISSN 1998-6920. 2. *Ушмаев, О. С.* Информационная технология интеграции идентификации по изображению лица для ускорения автоматической дактилоскопической идентификации / О. С. Ушмаев // Информатика и ее применения. – 2008. – Т. 2, №4. – С. 66-73. – ISSN 1992-2264. 3. *Neyman, J.* On the problem of the most efficient tests of statistical hypotheses / J. Neyman, E. S. Pearson // Philos. Trans. R. Soc. – 1993. – №231. – P. 289–337. – ISSN 0962-8436. 4. *Phillips, P.* Facial recognition vendor test 2002: Evaluation report, March 2003 [Електронний ресурс] / P. Phillips, P. Grother, R. Micheals, D. Blackburn, E. Tabassi, M. Bone // Портал : frvt.org. – Режим доступу \www/ URL: http://www.frvt.org. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 16.02.2014. 5. *Ushmaev, O. S.* Problems of automatic fusion of biometric identifiers / O. S. Ushmaev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – V.19. – №3. – P. 534–538. – ISSN 1054-6618. 6. *Пахомов, С.* Отпечаток пальца вместо пароля / С. Пахомов // Компьютер-Пресс. – 2004. – №4. – ISSN 0868-6157 : [Електронний ресурс] // Портал : Компьютер-Пресс. – Режим доступу \www/ URL: http://compress.ru/ Archive/CP/2004/4/11/. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 17.02.2014. 7. *Гусев, Г. А.* Под мультибиометрическим контролем / Г. А. Гусев // Системы безопасности. – 2009. – №3. – С. 134-136. – ISSN відсутній. 8. *Грузман, И. С.* Цифровая обработка изображений в информационных системах : навчальний посібник / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых [та ін.] // Новосибирск : НГТУ, 2002. – 352 с. 9. *Казакова, Н. Ф.* Синтез методу виділення контурів у системах ідентифікації на основі усереднення перепадів яскравості / Н. Ф. Казакова, О. О. Фразе-Фразенко // Інформаційна безпека. – 2013. – №2(10). – С.48-57. – ISSN 2224-9613. 10. *Вакуленко, А.* Биометрические методы идентификации личности: обоснованный выбор и внедрение [Електронний ресурс] / А. Вакуленко, А. Юхнин // Портал : НПО ИНФОРМ: Биометрические системы безопасности. – Режим доступу \www/ URL: http://www.npo-inform.com/press/biovybor/. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 17.02.2014. 11. *Phillips, P.* Facial recognition vendor test 2002: Evaluation report [Електронний ресурс] / P. Phillips, P. Grother, R. Micheals, D. Blackburn [и др.] // Портал : frvt.org. – Режим доступу \www/ URL: http://www.frvt.org/. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 17.02.2014. 12. *Ushmaev, O. S.* Problems of automatic fusion of biometric identifiers / O. S. Ushmaev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Т. 19. – № 3. – С. 534–538. 13. *Griffin, P.* Topics for multi-biometric research «MMUA-2003»: Panel Discussion [Електронний ресурс] / P. Griffin // Портал : без назви. – Режим доступу \www/ URL: http://mmuaxs.ucsb.edu/. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 19.02.2014. 14. *Bonsor, K.* How

Facial Recognition Systems Work [Електронний ресурс] / К. Bonsor, R. Johnson // Портал : Howstuffworks – Режим доступу \www/ URL: http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/facial-recognition.htm. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 15.01.2013. 15. *Скопа О.О., Фразе-Фразенко О.О.* Анізотропна фільтрація зображень у системах аутентифікації // Матеріали II-ої Міжнар. наук.-техн. конф. «Захист інформації і безпека інформаційних систем», Львів, 30 травня – 01 червня 2013 р. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2013. – С. 156-158. 16. *Фразе-Фразенко, А. А.* Система текстурних признаков, основанных на измерении пространственных частот / А. А. Фразе-Фразенко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – №5/5(13). – С. 60-62. – ISSN 2226-3780. 17. *Казакова, Н. Ф.* Исследование и применение в системах защиты информации корреляционного критерия сходства графических структур // Информационные системы в управлении, образовании, промышленности : монография / Н. Ф. Казакова, А. А. Фразе-Фразенко [и др.] ; под ред. В. С. Пономаренко. – Х. : ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. – 498 с. (Русск. яз.). – ISBN 978-617-7188-50-5. 18. *Фразе-Фразенко, О. О.* Огляд та аналіз поточного стану технологій розпізнавання образів та перспективи їх використання у системах захисту інформації // Удосконалення принципів та методів інформаційного забезпечення, інформаційної та фінансово-економічної безпеки підприємств та організацій сфери економіки, бізнесу та фінансів [Звіт про НДР] : (пром.зн.) / О.О. Скопа, Н.Ф. Казакова, О.В. Орлик, Ю.В. Щербина, А.О. Петров, С.Л. Волков, О.І. Мацків, О.Г. Єсіна, А.Ю. Вакула, О.О. Фразе-Фразенко, А.В. Мінін, О.О. Йона, Є.В. Вавілов, К.Б. Айвазова ; кер. О.О. Скопа. – Одеса : ОНЕУ, 2013. – 0112U007713. – 236 с. – С. 38-69.

Надійшла до редколегії 25.03.2014

УДК 004.738.5; 519.6 : 616-073.75; 004.932.2

Выбор методики и расчет коэффициентов ложного пропуска и ложного отказа в доступе в системах биометрической идентификации / А. А. Скопа, А. А. Фразе-Фразенко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 80–89.

Алгоритмы установления характеристик стохастической, связанные с получением характеристик стохастической взаимосвязи сравниваемых фрагментов. Все они основываются на идеях корреляционной и спектральной теории сигналов. Одной из мер сходства изображений, характеризующей качество работы биометрической системы идентификации, является определение FAR и FRR. Одна из таких методик рассматривается в статье.

Ил. 5. Библиогр.: 16 назв.

UDK 004.738.5; 519.6 : 616-073.75; 004.932.2

The choice of methods and the calculation of FAR and FRR access to the biometric identification systems / О. О. Скопа, О. О. Фразе-Фразенко // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 80–89.

Algorithms for establishing similarity of images associated with obtaining the stochastic characteristics of the relationship of the compared items. They are based on the ideas of correlation and spectral theory of signals. One of the measures of similarity of images, which characterizes the quality of biometric identification system is to determine the FAR and FRR. One such technique is discussed in the article.

Fig. 6. Ref.: 16 items.

Н. М. Кораблев¹, М. В. Кушнарев²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, korablev.nm@gmail.com;² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mauxion@gmail.com

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ВРЕДНОСНЫХ ПРОГРАММ

В статье предлагается мультиагентная модель искусственной иммунной системы для определения как существующих, так и новых модификаций вредоносных программ, которая позволяет распознать вирус с минимально возможными затратами системных ресурсов. Оценка эффективности предложенной модели выполнена путем сравнительного анализа с моделями на основе искусственной нейронной сети и искусственной иммунной системы. Представлены результаты экспериментальных исследований, демонстрирующие особенности предлагаемого подхода.

МОДЕЛЬ, МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА, ИСКУССТВЕННАЯ ИММУННАЯ СИСТЕМА, ВРЕДНОСНАЯ ПРОГРАММА, АГЕНТ, АНТИТЕЛО, АНТИГЕН, АФФИННОСТЬ, КЛОНИРОВАНИЕ, МУТАЦИЯ, СУПРЕССИЯ

Введение

В настоящее время вредоносные программы стали частью бизнеса, их создание и поддержка поставлены на коммерческую основу, что в свою очередь положительно влияет на качество применяемых в них технологий скрытия от обнаружения антивирусными программами. Одна из наиболее эффективных и часто используемых технологий скрытия – применение шифрования. Новые модификации появляются каждый день, при этом различия между модификациями в большинстве случаев заключаются в использовании разных ключей и немного измененных алгоритмов шифрования. Аналитикам антивирусных компаний приходится добавлять каждую новую модификацию в базы и выпускать их срочным обновлением, в то время как большое количество компьютеров уже оказывается зараженными. Это происходит по причине недостаточной эффективности применяемых сегодня эвристических анализаторов (ЭА) – средств распознавания неизвестных модификаций.

Существующие эвристические технологии, призванные помочь в определении новых модификаций вирусов, на сегодня не дают должного уровня распознавания в связи с их слабой эффективностью при работе с зашифрованными объектами. К недостаткам существующих методов обнаружения вторжений в первую очередь можно отнести уязвимость к новым атакам, низкую точность и скорость работы. Современные системы обнаружения вторжений плохо приспособлены к работе в реальном времени, в то время как возможность обрабатывать большой объем данных в реальном времени – это определяющий фактор использования таких систем. Указанные недостатки трудно устранить, используя только классические методы в области компьютерной безопасности.

Поэтому появилась необходимость в разработке новых подходов к распознаванию вредоносных

программ, которые должны быть основаны на анализе их поведения и действовать в обход шифрования на более высоком уровне. Новые подходы должны позволять эффективно распознавать как старые, так и новые модификации вирусов с минимально возможной загрузкой системы, а также защищать компьютерные сети без необходимости обновления антивирусного программного обеспечения [1, 2].

Полностью эффективных способов борьбы с угрозами на сегодняшний день не существует, но использование в составе ЭА искусственных нейронных сетей (ИНС) [3-5], искусственных иммунных систем (ИИС) [6-8] и мультиагентных систем (МАС) [9] позволяет идентифицировать широкий класс вирусов. В составе ЭА в настоящее время активно используются ИИС, которые относятся к классу автоматизированных вычислительных интеллектуальных систем, использующих принципы иммунной системы позвоночных. В [8] предложена модель ЭА вредоносных программ, основным компонентом которой является искусственная иммунная сеть, с помощью которой осуществляется обучение, детектирование и распознавание как существующих, так и новых модификаций вирусов.

С другой стороны, ЭА на основе ИИС можно представить в виде МАС, состоящей из множества автономных модулей – агентов, функционирующих в среде. Главное достоинство МАС – это гибкость, которая может быть дополнена и модифицирована без изменения значительной части программы [10]. В соответствии с этим в работе предлагается мультиагентная модель (ММ) представления ИИС для определения вредоносных программ, которая является гибкой, легко масштабируемой и позволяет распознавать вирусы с минимально возможными затратами системных ресурсов.

1. Постановка задачи

Пусть имеется множество исполняемых файлов $N_j, j = \overline{1, M}$, которые могут содержать вредоносные коды и представляются антигенами ИИС. Пусть имеется множество программных агентов $S_i, i = \overline{1, N}$, которые должны распознавать исполняемые файлы и представляются антителами ИИС. Окружающая среда Env представляет собой операционную систему компьютера, в которой взаимодействуют как исполняемые файлы N_j с программными агентами S_i , так и программные агенты между собой. Предполагается, что для каждого исполняемого файла $N_j, j = \overline{1, M}$ существует информационный вектор (вектор признаков) $A_j = [a_{j,1}, a_{j,2}, \dots, a_{j,m}]$ из m элементов, который может содержать вредоносные коды. У каждого программного агента $S_i, i = \overline{1, N}$ также есть информационный вектор (вектор признаков) $B_i = [b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,n}]$ из n элементов, определяющий его самостоятельные цели. При этом векторы признаков и особенности как программных агентов, так и исполняемых файлов могут отличаться друг от друга.

Предполагается, что у программных агентов S_i есть способность идентифицировать исполняемые файлы N_j в сенсорных областях SNs (*Sensory Neighborhoods*) с помощью двумерного массива значений аффинностей:

$$Aff_{S_i, N_j} = 1 / (1 + D_{i,j}), i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где $D_{i,j} = \|S_i - N_j\|$ – евклидово расстояние.

Кроме того, программные агенты также обладают способностью сообщать информацию об исполняемых файлах другим программным агентам в коммуникационных областях CNs (*Communication Neighborhoods*) с помощью двумерного массива значений аффинностей:

$$Aff_{S_r, S_p} = 1 / (1 + D_{r,p}), r, p = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где $D_{r,p} = \|S_r - S_p\|$ – евклидово расстояние.

Необходимо разработать МАМ представления ИИС, с помощью которой будет выполняться распознавание вредоносных кодов в исполняемых файлах на основе организации взаимодействий как между программными агентами и исполняемыми файлами, так и программных агентов между собой.

2. Модель ИИС на основе МАС

Предлагаемая модель представления ИИС с помощью МАС приведена на рис. 1 и описывается следующим кортежем:

$$MAMAS = \langle El, Attr, Env, RI, SNs, CNs, RAct, CAct, Ev \rangle, \quad (3)$$

где El – множество элементов системы, характеризующихся набором атрибутов-признаков (фрагментов программ) $Attr$ и функционирующих

в окружающей среде Env , которая представляет собой операционную систему компьютера, находятся в определенных отношениях RI , позволяющих взаимодействовать друг с другом в сенсорных SNs и коммуникационных CNs областях, обладают возможностью выполнять реактивные $RAct$ и коммуникативные $CAct$ действия для достижения цели, изменяя свои атрибуты $Attr$ в процессе эволюции Ev .

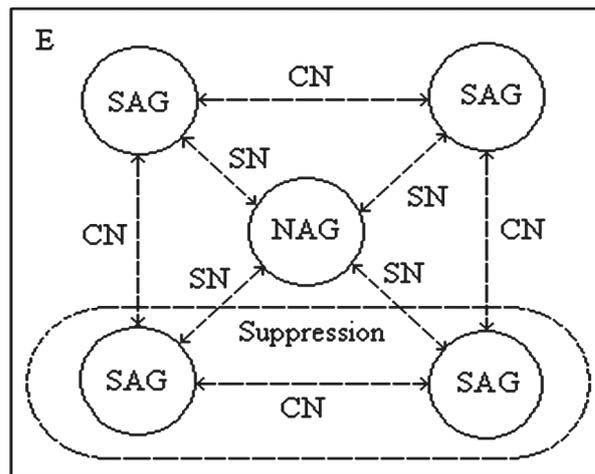


Рис. 1. Представление ИИС в виде МАС

Предлагаемая модель определяет антиген и антитело как два агента с различными особенностями и целями. Поэтому в модели МАС представления ИИС используются только два типа агентов: антигены $N_j, j = \overline{1, M}$ представлены как non-self агенты ($NAGs$), а антителам $S_i, i = \overline{1, N}$ соответствуют self агенты ($SAGs$). Следовательно, множество элементов El МАС состоит из self агентов $SAGs$ и non-self агентов $NAGs$ ($El = SAG_i \cup NAG_j$), каждый из которых характеризуется набором атрибутов-признаков $\{a_{j,k}\}$ и $\{b_{i,l}\}$, $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}$.

Модель МАС представлена в виде иммунной сети Эрне [11] (рис.1), а отношения RI и взаимодействия self агентов $SAGs$ с non-self агентами $NAGs$, а также self агентов $SAGs$ между собой определяются степенью их близости, оцениваемой значениями аффинностей (1) и (2). Реактивные действия $RAct$ self агентов $SAGs$ по отношению к non-self агентам $NAGs$ определяются величиной порога аффинности T_{NAG} в сенсорных областях SNs и зависят от значений аффинностей (1). Коммуникационные действия $CAct$ self агентов $SAGs$ между собой определяются величиной своего порога аффинности T_{SAG} в коммуникационных областях CNs , зависят от значений аффинностей (2) и могут приводить к суппрессии сети.

Алгоритм распознавания вредоносных программ на основе МАМ, описывающей ИИС, может быть представлен в виде следующей последовательности выполнения операторов:

$$\begin{aligned}
 & MDA(NAGs, SAGs, Aff_{S,N}, Aff_{S,S}, SNs, CNs, T_{NAG}, T_{SAG}, p) = \\
 & = NAGpresent(NAGs, SAGs, Aff_{S,N}) \rightarrow \\
 & \rightarrow SAGSelect(SAGs, SNs, T_{NAG}) \rightarrow \\
 & \rightarrow SAGs_{cl} [Clon(SAGs, T_{NAG}) \rightarrow Mut(SAGs_{cl}) \rightarrow \\
 & \rightarrow Clpresent(NAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,N}) \rightarrow \\
 & \rightarrow ClSel(SAGs_{cl}, SNs, T_{NAG}) \rightarrow \\
 & \rightarrow SAGpresent(SAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,S}) \rightarrow \\
 & \rightarrow Supp(SAGs, SAGs_{cl}, CNs, T_{SAG}) \rightarrow \\
 & \rightarrow Age(SAGs, SAGs_{cl}) \rightarrow TermTest(p), \tag{4}
 \end{aligned}$$

где $NAGpresent(NAGs, SAGs, Aff_{S,N})$ – оператор представления self агентов $SAGs$ non-self агентам $NAGs$; $SAGSelect(SAGs, SNs, T_{NAG})$ – оператор отбора self агентов $SAGs$; $Clon(SAGs, T_{NAG})$ – оператор клонирования отобранных self агентов $SAGs$; $Mut(SAGs_{cl})$ – оператор мутации клонов; $Clpresent(NAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,N})$ – оператор представления клонированных self агентов $SAGs_{cl}$ non-self агентам $NAGs$; $ClSel(SAGs_{cl}, SNs, T_{NAG})$ – оператор отбора клонированных self агентов $SAGs_{cl}$; $SAGpresent(SAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,S})$ – оператор представления отобранных и клонированных self агентов друг другу; $Supp(SAGs, SAGs_{cl}, CNs, T_{SAG})$ – оператор супрессии self агентов; $Age(SAGs, SAGs_{cl})$ – оператор старения; $TermTest(p)$ – процедура проверки критерия останова.

Следует отметить, что операторы представления $NAGpresent(NAGs, SAGs, Aff_{S,N})$ и отбора $SAGSelect(SAGs, SNs, T_{NAG})$ вызываются только один раз для исходной популяции self агентов $SAGs$ и не используются в дальнейшем. Остальные операторы используются в цикле в зависимости от предельного количества популяций. Оператор представления $NAGpresent(NAGs, SAGs, Aff_{S,N})$ реализует функцию определения аффинностей $Aff_{S,N}$ между self агентами $SAGs$ и non-self агентами $NAGs$ в соответствии с (1). Оператор отбора $SAGSelect(SAGs, SNs, T_{NAG})$ используется для выделения self агентов $SAGs$ из исходной популяции, у которых аффинность с non-self агентами $NAGs$ удовлетворяет условию:

$$Aff_{S_i, N_j} \geq T_{NAG}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}, \tag{5}$$

т.е. отбираются те self агенты $SAGs$, которые попадают в сенсорную область SN соответствующего non-self агента NAG и значения аффинностей которых превышает заданный порог T_{NAG} . Оператор клонирования $Clon(SAGs, T_{NAG})$ используется для клонирования self агентов $SAGs$, прошедших отбор. При этом применяется пропорциональное клонирование [12], при котором количество клонов, создаваемых для каждого отобранного self агента SAG , прямо пропорционально его аффинности с non-self агентами $NAGs$, превышающей порог T_{NAG} :

$$N_{cl} = N * Aff_{S,N}, \tag{6}$$

где N – общее количество self агентов $SAGs$.

Оператор мутации клонов $Mut(SAGs_{cl})$ используется для внесения изменений в признаки клонов self агентов $SAGs_{cl}$ для достижения их большей близости j -му non-self агенту NAG_j . При использовании оператора случайной мутации изменение значения каждого k -го признака i -го клона $b_{i,k}$ производится следующим образом:

$$b_{i,k} = b_{i,k} \pm \mu_i \cdot ((Aff_{S_i, N_j})^{-1} - 1), i = \overline{1, N_{cl}}, k = \overline{1, n}, \tag{7}$$

где μ_i – коэффициент мутации, который определяет характер изменения признаков i -го клона. В существующих иммунных методах наилучший эффект даёт обратно пропорциональная мутация [12], при которой коэффициент мутации зависит только от значения аффинности i -го клонированного self агента SAG_{cl_i} к j -му non-self агенту NAG_j и определяется следующим образом:

$$\mu_i = rand(0; 1 - Aff_{S_i, N_j}), i = \overline{1, N_{cl}}. \tag{8}$$

Следует отметить, что при случайной мутации знак \pm в выражении (7) определяется случайным образом.

Оператор представления клонированных self агентов $SAGs_{cl}$ non-self агентам $NAGs$ $Clpresent(NAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,N})$ используется для определения значений аффинностей между мутированными клонами $SAGs_{cl}$ и non-self агентам $NAGs$ в соответствии с (1). Таким образом, вместо всей популяции non-self агентов $NAGs$ во взаимодействие с клонами вступает только небольшая группа $NAGs$, что приводит к уменьшению количества вычислительных операций.

Оператор отбора $ClSel(SAGs_{cl}, SN, T_{NAG})$ клонированных self агентов $SAGs_{cl}$ используется для проведения отбора клонов, которые попали в сенсорные области SNs non-self агентов $NAGs$ и превысили порог аффинности T_{NAG} в соответствии с условием (5), а также для определения клонов с наилучшей аффинностью с одним из non-self агентов $NAGs$.

Оператор представления отобранных и клонированных self агентов друг другу $SAGpresent(SAGs, SAGs_{cl}, Aff_{S,S})$ используется для определения значений аффинностей $Aff_{S,S}$ между ними в соответствии с (2).

Оператор супрессии $Supp(SAGs, SAGs_{cl}, CN, T_{SAG})$ используется для поглощения self агентов, попадающих в коммуникационные области CNs других self агентов $SAGs$ и $SAGs_{cl}$ и превышающих порог аффинности T_{SAG} . С помощью этого оператора реализуется функция передачи информации о non-self агентах $NAGs$ другим self агентам $SAGs$ в коммуникационных областях CNs , которая оценивается значениями аффинностей (2) и удовлетворяет условию:

$$Af_{S_r, S_p} \geq T_{SAG}, r, p = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Оператор старения $Age(SAGs, SAGs_{cl})$ используется для замены клонированных self агентов $SAGs$ клонами $SAGs_{cl}$, которые остались в результате отбора. Клонированные self агенты заменяется своими клонами в том случае, если их аффинность хуже аффинности клонов. В противном случае клоны удаляются из памяти, а self агенты остаются для клонирования на следующей популяции.

Процедура проверки критерия останова $TermTest(p)$ используется для завершения работы алгоритма, которое может произойти в случае достижения состояния полной близости для self агентов, прошедших отбор, либо достижения предельного количества популяций self агентов.

Процесс распознавания вредоносных программ с помощью предлагаемой модели представляется следующим образом:

1. Формирование популяции self агентов $SAGs$ случайным образом.
2. Для каждого non-self агента NAG определяется его близость со всеми self агентами $SAGs$ в сенсорных областях SMs в соответствии с (1).
3. Из множества self агентов $SAGs$ выбирается подмножество, удовлетворяющее условию (5).
4. Выбранные self агенты подвергаются клонированию в соответствии с (6).
5. Множество клонов подвергается процессу мутации в соответствии с (7), образуя множество мутированных self агентов.
6. Определяется близость всех элементов этого множества к non-self агентам в соответствии с (1).
7. Из этого множества выбираются self агенты с наивысшим значением близости, удовлетворяющие условию (5), и помещаются в клональную память.
8. Определяется близость всех клонов памяти между собой в соответствии с (2).
9. Сжатие сети: поглощаются все self агенты, для которых выполняется условие (9).
10. Клональное подавление: удаляются все клоны памяти, для которых не выполняется условие (5).
11. Проверка критерия останова. В случае его достижения – переход к 12, иначе переход к 4.
12. Конец.

В соответствии с приведенным алгоритмом производится распознавание вредоносных программ. При этом выполняется кластеризация входного множества исполняемых файлов на два подмножества, первое из которых будет соответствовать вредоносным программам исследуемого семейства, а второе – не вредоносным программам или же вредоносным программам из других семейств.

3. Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований использовался специализированный набор

инструментов: разработанные утилиты Threader и Matcher, которые предназначены для преобразования и исследования информации. Для сравнительного анализа предлагаемой МАМ с другими моделями (ИНС [5, 6] и ИИС [7, 8]) было выбрано 5 вредоносных программ, принадлежащих к классу загрузочных вирусов, которые однозначно были распознаны при использовании всех моделей.

На этапе обработки данных производился запуск вредоносных программ на эмуляторе и получение протоколов их работы. Полученные протоколы были проанализированы с помощью утилиты Threader, а затем сравнивались попарно каждый с каждым при помощи утилиты Matcher. Результатом работы явилось множество общих для всех входных протоколов фрагментов (характерных поведенческих признаков).

В качестве критериев эффективности были выбраны следующие системные ресурсы: 1) время анализа программ; 2) загрузка центрального процессора (ЦП); 3) загрузка оперативной памяти (ОП). Сравнительные результаты потребления системных ресурсов при моделировании выбранных вредоносных программ по указанным критериям с помощью различных подходов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Потребление системных ресурсов

Наименование вируса	Время анализа программ, с			Загрузка ЦП, %			Загрузка ОП, %		
	инс	иис	мам	инс	иис	мам	инс	иис	мам
HackTool.Win32.BruteForce.ben	7	12	8	33	44	32	52	57	50
Worm.Win32.AutoRun.faka	11	9	6	35	42	35	38	42	39
Virus.Win9x.Spaces.1245	9	10	7	13	26	13	40	39	38
not-a-virus:Downloader.Win32.LMN.uhv	8	10	6	31	38	28	36	35	37
not-a-virus:AdWare.Win32.ScreenSaver.wym	8	11	8	40	45	38	24	27	25

Из таблицы видно, что для тестируемых вредоносных программ с помощью трех основных подходов (ИНС, ИИС и МАМ) как по времени анализа, так и по загрузке ЦП и ОП наилучшие средние показатели имеет предлагаемая МАМ представления ИИС. Таким образом, использование предложенной МАМ, описывающей ИИС, позволяет распознавать новые модификации вредоносных программ и, следовательно, успешно решать возложенную на нее задачу с минимально возможными затратами системных ресурсов.

Выводы

Рассмотрено решение актуальной задачи распознавания как существующих, так и новых

модификаций вредоносных программ на основе ИИС, моделью которой является МАС. Поскольку МАС имеют некоторое сходство с ИИС, что обеспечивает применение принципов функционирования ИИС к МАС, то в модели ИИС на основе МАС использованы только два типа агентов: антигены смоделированы как non-self агенты *NAGs*, а антитела — как self агенты *SAGs*.

Предложенная МАМ представления ИИС для распознавания вредоносных программ является гибкой, легко масштабируемой и позволяет распознать вирус с минимально возможными затратами системных ресурсов.

Были проведены сравнительные экспериментальные исследования предложенной МАМ с моделями на основе ИИС и ИИС на примере вредоносных программ, принадлежащих к классу загрузочных вирусов, которые показали, что по потреблению основных системных ресурсов (время анализа, загрузка ЦП и ОП) наилучшие средние показатели имеет предлагаемая модель.

Дальнейшие исследования ориентированы на разработку моделей обнаружения и распознавания вредоносных программ на основе агентно-ориентированного подхода.

Список литературы: 1. *Шибалева Т.А.* Защита от внедрения и запуска вредоносных программ / Т.А. Шибалева, А.Ю. Щеглов, А.А. Оголюк // Вопросы защиты информации. — 2011. — № 2. — С. 26-30. 2. *Новиков Е.А.* Сравнительный анализ методов обнаружения вторжений / Е.А. Новиков, А.А. Краснопевцев // Безопасность информационных технологий. — 2012. — № 1. — С. 47-50. 3. *Абрамов Е.С.* Метод обнаружения распределенных информационных воздействий на основе гибридной нейронной сети / Е.С. Абрамов, И.Д. Сидоров // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2009. — Т. 100. — № 11. — С. 154-164. 4. *Емельянова Ю.Г.* Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы / Ю.Г. Емельянова, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко // Программные системы: теория и приложения. — 2011. — Т. 2. — № 3. — С. 3-15. 5. *Гаврилов А.В.* Применение постоянно модифицирующихся нейронных сетей для защиты программного обеспечения / А.В. Гаврилов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2008. — № 1-2. — С. 90-101. 6. *Гаврилов А.В.* Применение иммунных систем в целях защиты корпоративной информации от нецелевого использования / А.В. Гаврилов, А.В. Тихомиров // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2010. — Т. 108. — № 7. — С. 154-163. 7. *Zekri M., Souici-*

Meslati L. Artificial Immune System for Intrusion Detection / M. Zekri, L. Souici-Meslati // Evolutionary Computation. — 2011. — V. 13, № 2. — 145-153. 8. *Кораблев Н.М.* Модель эвристического анализатора вредоносных программ на основе искусственной иммунной сети / Н.М. Кораблев, М.В. Кушнарв // Системы обработки информации: сб. науч. пр. — 2013. — Вып. 8 (115). — С. 216-222. 9. *Войцехович Л.Ю.* Применение мультиагентной системы с нейросетевым классификатором для выявления атак в трафике TCP/IP / Л.Ю. Войцехович, В.А. Головкин, Курош Мадани // Нейроинформатика. — 2011. — Часть 1. — С. 190-201. 10. *Alkhateeb F.* Multi-Agent Systems – Modeling, Interactions and Case Studies / F. Alkhateeb, E. Al Maghayreh, I. Abu Doush // Published by InTech, Rijeka, Croatia. — 2011. — 502 p. 11. *Jerne N.K.* Idiotypic networks and Other Preconceived Ideas / N. K. Jerne // Immunological review. — 1984. — V. 79. — P. 5–24. 12. *Dasgupta D.* Immunological computation, theory and applications / D. Dasgupta, L.F. Nino – CRC Press, 2009. — 298 p.

Поступила в редколлегию 21.02.2014

УДК 004.89

Мультиагентна модель штучної імунної системи для розпізнавання шкідливих програм / М.М. Корабльов, М.В. Кушнарв // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 90–94.

Запропоновано мультиагентну модель подання штучної імунної системи, яка використовується для розпізнавання шкідливих кодів у файлах, що виконуються, на основі організації взаємодій як між програмними агентами та програмними файлами, так і програмних агентів між собою. Запропонована модель є гнучкою, легко масштабується і дозволяє розпізнавати віруси з мінімально можливими витратами системних ресурсів. Представлені результати порівняльних експериментальних досліджень, що демонструють ефективність запропонованого підходу.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 12 найм.

UDK 004.89

Multi Agent Model of an Artificial Immune System to Malware Detection / N.M. Korablyov, M.V. Kushnaryov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 90–94.

Multi agent model representation an artificial immune system which is used for the detection of malicious code in executable files based on the organization as interactions between software agents and executable files, and software agents to each other is proposed. The proposed model is flexible, scalable and easily allows you to identify viruses with the lowest possible cost of system resources. Results of comparative experimental researches that demonstrate efficiency of the proposed approach is presented.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 12 items.

УДК 004.031.2; 004.272



Ж. Ю. Зеленцова

Network Cloud Cube, г. Кременчуг, Украина, Zh.Andreeva@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕГРАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЕРВИСНЫХ ПЛАТФОРМ

Для современной глобальной вычислительной среды свойственно большое количество пользователей, устройств и данных. Постоянно возрастает и сервисное разнообразие на всех уровнях иерархии вычислительной инфраструктуры, все чаще говорится о применении гетерогенных методов проектирования глобальных вычислительных платформ. Для упрощения инфраструктуры традиционно используются интеграционные решения. В большинстве случаев для согласования интерфейсов применяются методы виртуализации, они могут использоваться в качестве фундаментальной базы при проектировании сетевой инфраструктуры нового поколения.

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ, ВИРТУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ, ВИРТУАЛИЗАЦИЯ, ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, СОЦИАЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ

Введение

Многообразие сетей, ресурсов и сервисов в глобальной вычислительной инфраструктуре предполагает применение интеграционных решений, которые упрощают доступ к глобальной информационной сети, а также повышают управляемость её отдельных сегментов. Повышение её сложности предполагает разнообразие используемых сетевых технологий, а улучшение качества управления инфраструктурой – применение методов согласования внутренней среды гетерогенных решений. Для этих целей традиционно используются методы виртуализации.

Изучение технологии виртуализации в совокупности с интеграционными решениями является сравнительно новым и одновременно востребованным направлением в сфере глобальной вычислительной инфраструктуры, так как позволяет организовать эффективное управление гетерогенными вычислительными средами с соответствующими технологическими решениями, позволяющими понизить сложность глобальной сетевой инфраструктуры.

1. Анализ литературы и постановка задачи

Лавинообразный рост объема информации в информационно-вычислительных сетях вызывает необходимость совершенствования методов организации, структуры, методов хранения информации и принципов их эволюции. Вычислительная среда будущего – это среда, связанная общими сетевыми протоколами обмена данными, поддерживающими распределенную обработку данных, их репликацию и модификацию. Данные такой среды – это гибкая самоорганизующаяся инфраструктура, способная к самомодификации благодаря функциональности сетевых протоколов без вмешательства человека [1]. Исходя из этого, современные интеграционные решения и особенности применения виртуализации при разработке

новых сервисных платформ представляют большой интерес для ученых и исследователей. Из современных ученых к ним можно отнести Лугового А. В., Пивушкова А. В., Волохова В. М., Варламова Д. А., Грекула В. И., Пырлину И. В., Богданова А. В., Станкову Е. Н. и многих других. В их работах, в основном, уделено внимание различным технологиям, которые позволяют существенно повысить эффективность применения технологий виртуализации грид-ресурсов и грид-сервисов, способов работы с большими пулами независимых заданий, реализацию в виртуальных средах версий прикладных пакетов, а также сформулированы перспективы применения описанных технологий для проведения разнообразных вычислений.

Исходя из общей проблемы, анализа исследований и публикаций, *задачей* и *целью статьи* является анализ архитектуры интеграционных платформ в совокупности с методами виртуализации. Представляется целесообразным проведение разделения интеграционной платформы на несколько уровней интеграции для упрощения структуры за счет кластеризации функциональности.

2. Предпосылки к объединению ресурсов

В качестве объектов исследования будем рассматривать существующие интеграционные решения в совокупности с методами виртуализации. Первые интеграционные решения были предложены как часть корпоративных систем и известны как сервисная шина предприятия (англ.: *Enterprise Service Bus* – ESB) (рис. 1).

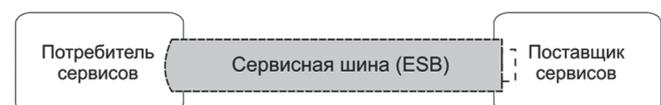


Рис. 1. Архитектура-шаблон ESB [2]

Сервисные шины позволяли добиться объединения разнородных ресурсов, приложений и

данных компании, они предназначены для объединения корпоративных гетерогенных ресурсов в единую среду.

Процесс объединения корпоративной информации на базе интеграционной платформы предполагает совместную обработку разнородных источников и организацию доступа пользователей к внутренней среде с сокрытием инфраструктуры. Сервисная шина традиционно рассматривалась как связующая программная среда, которая функционирует на принципах сервис-ориентированной архитектуры (англ.: *Service-Oriented Architecture* – SOA). В основе архитектуры применяется событийно-управляемое программирование (англ.: *Event-Driven Programming* или *Message-Oriented Middleware* – MOM), используемое преимущественно для «прослушивания» действий пользователя в интерактивных интерфейсах. Классически для сервис-ориентированной архитектуры свойственно обслуживание слабосвязных сервисов, количество которых может увеличиваться, а инфраструктура расширяться.

Сервисные шины стали применяться для обслуживания глобальных платформ после появления социальных сетей. Самая крупная мировая социальная сеть Facebook развернута на базе сервисной шины промышленного класса ESB ORACLE [2, 3]. Сервисные шины с различным набором функций предлагаются рядом вендоров – SAP (SAP Integration), IBM (WebSphere ESB, ESBRE), Lotus, Cisco. Применение интеграционных решений стало особенно актуально в период роста количества сервисов, предлагаемых провайдерами конечным пользователям. Интеграционные платформы промышленного класса широко используются телекоммуникационными компаниями для предоставления сервисов пользователям.

С изменениями подходов и решаемых задач в рамках функциональности сервисной шины изменяется и её эталонная архитектура. В этом отношении надо отметить – несмотря на то, что сервисные шины используются уже в течение нескольких лет, не существует эталонной модели и, соответственно, нет перечня эталонного набора возможностей. Трактовка производителей функциональности сервисных шин достаточно широкая. В качестве путеводителя по архитектуре ESB может быть использовано приведенное в источнике [4] исследование.

Связь между сервисной шиной и технологиями виртуализации обнаруживается вследствие применения конвергентного синтеза, беря за основу сходство в функциональности. Как известно, общепринятого определения сервисной шины не существует. Определение отсутствует и в соответствующих отраслевых стандартах, таких как BPEL и BPMN 2.0 [4]. Сам термин предложен компанией Gartner в 2002 году Роем Шульте (англ.: *Roy Schulte*)

как описание программных продуктов, которые можно отнести к интеграционным решениям [5].

3. Модель будущей облачной интеграционной платформы

Согласно бытующему среди разработчиков определению архитектурная модель ESB обеспечивает взаимодействие между разнородными средами, ориентируясь на оказание услуг. В этом можно обнаружить функциональное сходство с виртуализацией.

Виртуализация как технология была впервые предложена в 60-х годах прошлого столетия для согласования различных аппаратных и логических интерфейсов – в рамках идеи согласованности и универсальности в архитектуре IBM System/360. После технология виртуализации имела основополагающее значение при обеспечении совместимости платформы x86. С x86 были несовместимы практически все устройства, что создавало определенные сложности использования и требовало согласования разных вычислительных архитектур в рамках одной аппаратной единицы. Проблема была решена с помощью виртуализации [5].

Используя функциональное сходство, можно объединить архитектурные особенности сервисной шины ESB и технологии виртуализации. В результате получена обобщенная модель интеграционной масштабируемой сервисной платформы, ориентированной на обслуживание пользователей в интерактивном режиме. Нужно отметить, что ESB имеет развитую методологию разработки интеграционной программной среды. Виртуализация в совокупности направлена на согласование аппаратных интерфейсов. Объединяя два подхода, можно получить широкую методологию построения интеграционных программно-аппаратных сред.

Предложенная модель интеграционной платформы ориентирована на предоставление сервисов пользователям согласно парадигме SOA (англ.: *Service-Oriented Architecture* – SOA). Предполагается, что запросы пользователей унифицированы и сведены к широкому кругу SLA-запросов (англ.: *Service Level Agreement* – SLA) с расширяемым набором слабосвязанных сервисов. Интеграционная платформа ориентирована на пользователей, и, соответственно, применяется архитектура событийно-ориентированного программирования, предполагающая «прослушивание» действий пользователей в режиме времени, близкому к реальному (рис. 2).

4. Обсуждение свойств интеграционной платформы

Предложенная интеграционная SOA-платформа представляет собой область виртуализации – зону сервисов и слой сопряжения между высокопроизводительными и низкопроизводительными

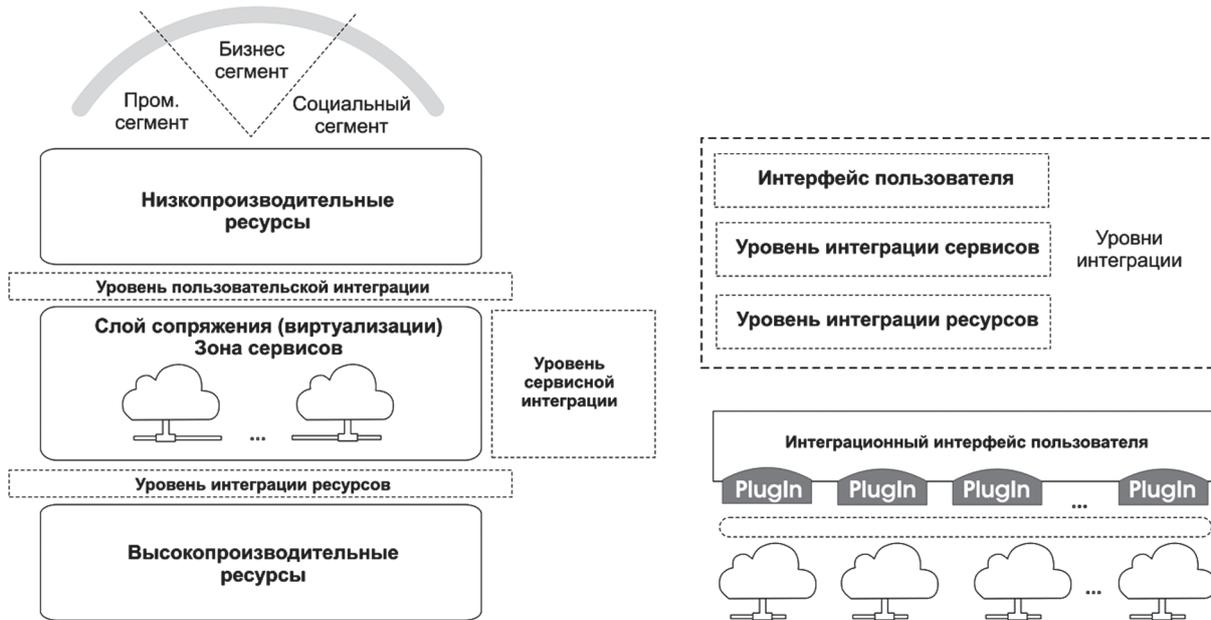


Рис. 2. Архитектура интеграционной платформы, совмещенной со средой виртуализации

ресурсами (устройствами пользователей). Такое решение отнесём к fabric-ориентированной архитектуре (англ.: *fabric-based*), в основе которой используются «ткань»-ориентированные вычисления (англ.: *fabric computing*) слабосвязных сервисов, образующих стек согласно парадигме SOA. Область виртуализации представляет собой федерацию облаков различной функциональности. Взаимная интеграция сервисов реализована с помощью технологии программно-конфигурируемых сетей (англ.: *Software-defined Networking – DN*), которая подразумевает отдельный слой виртуализации (управления) выбранной структуры логических или аппаратных объектов. SDN представляет собой отдельный уровень интеграции сервисов.

Сервисная шина представлена федерацией сервисных облаков, представляющих собой в горизонтальной перспективе гомогенную структуру облаков/облачных сервисов, в вертикальной перспективе – гетерогенную структуру. Каждое облако обслуживает определенный вид сервисов, устанавливает в рамках своей функциональности ряд fabric-ориентированных соединений (с использованием протокола P2P), позволяющих пользователям получить весь ассортимент современных сервисов, начиная от обслуживания персональных, non-PC и IoT-устройств.

Событийно-ориентированный интерактивный интерфейс пользователя реализуется с использованием метода аспектно-ориентированного программирования, позволяющего реализовать «сквозную» функциональность, обеспечивающую интеграционные функции всех доступных сервисов в интерфейс пользователя. Благодаря такому принципу организации, инфраструктура может динамически расширяться в зависимости от

количества подключенных сервисов («облаков») к соответствующей программно-конфигурируемой сети по «бесшовному» принципу. Обслуживание пользователей может быть организовано двумя способами.

В первом случае запросы пользователей могут адресоваться непосредственно на сервисное облако, а при невозможности обслуживания запроса в облаке, принимающем запрос, он может автоматически ретранслироваться на облако с соответствующей функциональностью. Этот вид обслуживания реализует современный принцип web-запросов к дистанционным сетевым сервисам с дополнительной функцией ретрансляции запроса. Такая интеграция может быть отнесена к уровню *сервисной интеграции*, на котором обеспечивается автоматическое взаимодействие сервисов при обслуживании пользовательских запросов.

Во втором случае предполагается организация отдельного интеграционного сервисного интерфейса для пользователей. Интеграционный интерфейс предполагает подключение сервисов с помощью PlugIn-интерфейса (рис. 3). В качестве примера такого решения можно привести облако Amazon EC2, которое не рассчитано на значительное расширение количества сервисов и их «быстрое» подключение. Интерактивный интерфейс с подключением доступных сервисов относится к уровню *пользовательской интеграции*.

При реализации решений корпоративного и промышленного уровня все интеграционные процессы обеспечиваются в рамках единой инфраструктуры сервисной шины. При развертывании глобальных инфраструктур, соответственно, росте количества пользователей, сервисов, вычислительных ресурсов, объема данных интеграция должна быть разделена

на соответствующие уровни. Такой подход позволит структурно упростить интеграционную задачу. Наряду с уровнями *сервисной* и *пользовательской интеграции* нужно рассматривать и интеграцию вычислительных ресурсов, предполагающих «быстрое» подключение высокопроизводительных устройств, которые предложены производителями в широком ассортименте. Все уровни интеграции могут быть реализованы с помощью хорошо известных методов аппаратной и логической виртуализации.

Особого внимания заслуживают методы *виртуализации данных* – метаданных, используемых в рамках «сквозной» функциональности в слое виртуализации, и *виртуализации пользователей*, реализуемых в рамках интерактивных интерфейсов. К методам виртуализации данных можно отнести дополненную реальность (англ.: *augmented reality*), к методам виртуализации пользователей – смешанную (англ.: *mixed reality*) и виртуальную реальности (англ.: *virtual reality*). Первая технология создает дополнительный информационный слой связанных с реальностью объектов, смешанная и виртуальная реальность предполагают создание цифрового мира из доступных цифровых объектов. Уровень пользовательской интеграции может иметь разную функциональность в зависимости от характера пользовательского сегмента – бизнес-сервисов, социальных сервисов и промышленного сегмента. Социальный сегмент уровня интеграции пользователей, как правило, реализуется на базе архитектуры социальных сетей.

На этом уровне в перспективе должны быть интегрированы новые технологические решения. В настоящий момент в пользовательской интеграционной платформе применяют технологию единого входа (англ.: *Single Sign-On* – SSO). В перспективе предполагается, что новая версия Windows 8 будет распознавать пользователя, соответственно, создавать виртуальный профиль данных о пользователе [6].

Выводы

В работе приведены результаты анализа архитектуры интеграционных платформ в совокупности с методами виртуализации. Наряду с совокупным применением методов виртуализации для интеграции ресурсов и сервисов в предложенной модели сделано разделение интеграционной платформы на несколько уровней интеграции для упрощения структуры за счет кластеризации функциональности. Также изучены дополнительные виды виртуализации и направления накопления объема данных, которые станут основой формирования дополнительного цифрового слоя реальности. Эти процессы в своей сути предполагают виртуализацию пользователей и данных, а также применение этих методов во всех пользовательских интерфейсах интеграционных платформ.

Список литературы: 1. *Луговой, А. В.* Эра мегаданных. Состояние и эволюция мирового информационно-вычислительного пространства / А. В. Луговой, Ж. Ю. Зеленцова, О. В. Луговая // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2012. – №1(72). – С. 36-42. 2. *Луговой, А. В.* Анализ архитектуры глобальных конвергентных решений и синтез агрегированной модели / А. В. Луговой, Ж. Ю. Зеленцова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – №3(80). – С.84-91. 3. *Kress J., Maier B., Normann H., Schmeidel D., Schmutz G., Trops B., Utschig-Utschig C., Winterberg T.* Enterprise Service Bus, ORACLE [Электронный ресурс] // Портал: ORACLE. – Режим доступа \www/ URL: <http://www.oracle.com/tech-network/articles/soa/ind-soa-esb-1967705.html/>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 25.07.2013. 4. *Gilpin M., Rose S.* For application development & delivery professionals. The ESB Reference Architecture Model. Part One: Of A Two-Part Series On Integration Solution Architecture Models, Forrester Research [Электронный ресурс] // Портал: forrester.com. – Режим доступа \www/ URL: <http://www.forrester.com/The+ESB+Reference+Architecture+Model/fulltext/-/E-RESS6731>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 21.03.2010. 5. *Schulte, W. R.* Analyst Profile [Электронный ресурс] // Портал: forrester.com. – Режим доступа \www/ URL: <http://www.gartner.com/AnalystBiography?authorId=256>. – Заглавие с экрана, доступ свободный, 23.02.2014. 6. *Зеленцова, Ж. Ю.* Конвергенция глобальной сети как новый этап развития: обзор инфраструктурных решений и технологий с целью нахождения решений для повышения безопасности обработки данных при облачных вычислениях / Ж. Ю. Зеленцова, Н. Ф. Казакова // Інформаційна безпека. – 2013. – №4(12). – С. 23-40.

Поступила в редколлегию 20.03.2014

УДК 004.031.2; 004.272

Сучасні інтеграційні рішення та особливості застосування віртуалізації при розробці сервісних платформ / Ж. Ю. Зеленцова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 95–98.

Для сучасного глобального обчислювального середовища властива велика кількість користувачів, пристроїв і даних. Постійно зростає і сервісна різноманітність на всіх рівнях ієрархії обчислювальної інфраструктури, все частіше говориться про застосування гетерогенних методів проектування глобальних обчислювальних платформ. Для спрощення інфраструктури традиційно використовуються інтеграційні рішення. У більшості випадків для погодження інтерфейсів застосовуються методи віртуалізації, які можуть бути використані в якості фундаментальної бази при проектуванні мережної інфраструктури нового покоління.

Л. 2. Бібліогр.: 6 найм.

UDK 004.031.2; 004.272

Integration solutions and application features virtualization in service platforms / Zh. Zelentsova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 95–98.

Feature of today's global computing environment it's a large number of users, devices, and data. Variety of WAN service is constantly growing, so the experts highlight the need to develop heterogeneous architectural techniques. Integration and virtualization solutions are used for such tasks. These technologies can be used together as a fundamental base of network infrastructure.

Fig. 2. Ref.: 6 item.

УДК 681.3.069



З. В. Дудар, М. С. Широкопетлева, О. В. Махін
ХНУРЕ, Харків, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО ПОШУКУ У РЕАЛІЗАЦІЇ ВЕБ-СИСТЕМИ ВИДАВНИЦТВА НАУКОВИХ ЖУРНАЛІВ

Мета даної роботи полягає в класифікації та порівнянні існуючих алгоритмів нечіткого словникового пошуку. Були проаналізовані: алгоритм послідовного перебору, модифікації n-грамних алгоритмів, trie-дерева, метричні дерева, kd-дерева, а також менш поширені сигнатурні алгоритми. В результаті аналізу алгоритмів запропоновані рекомендації щодо використання алгоритмів нечіткого словникового пошуку при реалізації веб-системи видавництва наукових журналів.

НЕЧІТКИЙ ПОШУК, N-ГРАМ, TRIE-ДЕРЕВО, KD-ДЕРЕВО, ВЕБ-СИСТЕМА

Вступ

Видавництво наукових журналів веде кілька напрямків своєї діяльності і кожен з них вимагає автоматизації. Процес підготовки до друку вимагає координації і синхронізації роботи безлічі людей як співробітників видавництва, так і авторів статей, редакторів випусків, рецензентів і коректорів.

Одна із частин веб-системи, яка реалізує автоматизацію діяльності видавництва, включає в себе інтерфейс для пошуку статей. Інтерфейс тісно інтегрований з інтернет-магазином, тобто після знаходження статті, що зацікавила користувача, він повинен мати можливість придбати її в зручному для себе вигляді. Це може бути випуск журналу з цією статтею, PDF файл, або доступ до електронної версії статті на сайті. Важливо в момент пошуку і покупки запропонувати користувачеві схожі статті, для цього можна використовувати методи семантичного аналізу.

Постановка проблеми. Враховуючи вищесказане, стає актуальним дослідження методів нечіткого пошуку, які дозволяють ефективно знаходити статті, враховуючи можливі помилки при наборі як в пошуковому рядку, так і в статті, яка була завантажена на сайт автором. Це дозволить користувачам сайту швидко знаходити цікаві для них видання, а співробітникам видавництва ефективно координувати роботу редакторів, авторів та рецензентів.

Аналіз літературних джерел. Нині алгоритми нечіткого пошуку рядків отримали широке поширення в системах автоматизації перекладу [1], орфографічних коректорах, програмах розпізнавання друкованого тексту і в пошукових системах.

У загальному випадку нечіткий текстовий пошук має на увазі відшукування довільних ділянок тексту, але часто задачу можна звести до словникового пошуку.

Так, наприклад, індексація в багатьох сучасних пошукових системах і електронних каталогах документів заснована на технології інвертування [2].

Процеси інвертування та складання алфавітного покажчика мають багато спільного і засновані на виділенні значимих ключових слів та складання списків входжень ключових слів у текст.

Отриману в результаті такого перетворення структуру даних прийнято називати інвертованим індексом або інвертованим файлом, а список ключових слів – словником. Пошук в інвертованому файлі здійснюється в два етапи: спочатку відбувається вибірка слів запиту зі словника, а потім зчитуються і обробляються відповідні списки входжень.

Більшість сучасних електронних бібліотек – це колекція документів, забезпечених інвертованим індексом для швидкого доступу. Центральною ланкою пошукових модулів є словниковий пошук. Помилки і спотворення можуть бути як у документах, які знову додаються в систему, так і в запитах користувачів, тому завдання ефективного нечіткого словникового пошуку виникає як на етапі створення документа, так і на етапі пошуку у вже проіндексованої колекції. В даний час велика частина робіт у галузі нечіткого строкового пошуку ставиться до пошуку без попереднього індексування, який в англомовних роботах часто називається on-line пошуком [3-9]. Словниковий пошук з попередньою індексацією (off-line пошук) є порівняно маловивченим напрямком.

Хоча розроблено чимало методів і алгоритмів таких, як n-грамна індексація, заснована на індексації фіксованої довжини [10], різні модифікації метричних дерев [11], алгоритми пошуку в абстрактних метричних просторах [12-14], trie-дерева (промені) [15, 16] практично неможливо знайти роботи, присвячені порівняльному аналізу алгоритмів нечіткого словникового пошуку.

1. Класифікація та опис пошукових алгоритмів

1.1 Функції схожості рядків. Функція схожості рядків – це наріжний камінь нечіткого словникового пошуку. Вибір підходящої функції схожості впливає не тільки на якість вибірки і швидкість пошуку, але також і на складність реалізації індексу. Добра функція близькості слів враховує різні типи спотворень, включаючи видалення, заміни, вставки і транспозиції символів, а в ідеалі і схожість звучання слів.

Одна з перших запропонованих заходів близькості слів – це функція Левенштейна [17]. Відстань

Левенштейна дорівнює мінімальному числу елементарних операцій редагування, необхідних для перетворення одного рядка в інший.

У загальному випадку один рядок може бути перетворений в інший за допомогою послідовності окремих операцій редагування. Таким чином, відстань редагування може бути обчислена за допомогою методу динамічного програмування [8]. Алгоритм має складність $O(MN)$, де M і N – довжини порівнюваних рядків, а для знаходження значення відстані потрібно обчислити MN елементів так званої матриці динамічного програмування.

Запропоновані процедури обчислення можна умовно розділити на дві категорії. Першу категорію складають алгоритми, див. напр. [6], що використовують метод відсікання. В їх основі лежить алгоритм динамічного програмування, але для визначення відстані редагування не потрібно обчислювати все MN елементів матриці. Другу категорію складають алгоритми, засновані на ефективному використанні бітових операцій [4, 9].

Інший підхід до задачі прискорення обчислення відстані редагування полягає у виборі більш легко обчислюваної функції схожості. Так, наприклад, добре досліджені різні модифікації n -грамних відстаней [7], засновані на підрахунку числа загальних підрядків фіксованої довжини.

В даний час запропоновано безліч альтернативних функцій близькості, але для нашої задачі відстань Левенштейна-Дамерау найбільш точно відповідає інтуїтивному поняттю схожості. Крім того, можна узагальнити функцію Левенштейна, щоб вона точніше оцінювала фонетичну схожість слів.

1.2 Параметри класифікації пошукових алгоритмів. Мета індексації списку слів – прискорення пошуку за подібністю. Під пошуком за подібністю мається на увазі відшукання всіх слів, для яких відстань (у цій роботі відстань Левенштейна) до пошукового шаблону не перевищує задану величину.

Алгоритми, які дозволяють відшукати всі рядки словника в заданій околиці пошукового терміну, будемо називати детермінованими.

Оскільки поняття міри близькості саме визначено неточно, не завжди має сенс вибірка всіх слів в заданій околиці пошукового шаблону. Існують алгоритми, які знаходять велику частину, але не гарантують знаходження всіх рядків. Такі алгоритми будемо називати рандомізованими. Типовим прикладом є пошук слів, що мають те ж значення функції *soundex*, що і слово, яке відшукується.

Досить поширеним підходом до реалізації алгоритмів рандомізованого пошуку є індексація щодо значень декількох хеш-функцій. Кожна з хеш-функцій перетворює слова в числові значення. Наприклад, в алгоритмі локально сталого хешування [18] хеш-функції будуються так, що чим менше відстань між двома словами, тим більше

вірогідність того, що значення хеш-функцій на цих словах збігаються. Зменшуючи або збільшуючи кількість хеш-функцій, можна досягти бажаного співвідношення швидкості пошуку та повноти вибірки.

У разі тривіального індексування, коли запит обробляється методом послідовного перебору, не потрібно ніякого додаткового перетворення. Недолік такого підходу – низька ефективність. Виділяючи в рядках загальні елементи, можна використовувати їх для скорочення перебору.

Будемо називати процес виділення характерних елементів рядків семплюванням. Найчастіше використовуються такі методи семплювання:

- семплювання підрядків: префіксів, суфіксів або n -грам;
- буквене семплювання;
- метричне семплювання.

Здійснивши перетворення рядків у семпли, можна проіндексувати словник для швидкого доступу. Для цього можна використовувати такі алгоритми:

- *trie*-дерева [16];
- інвертований індекс [2];
- координатні структури, наприклад, *kd*-дерева [12] *ird*-дерева [19];
- «точний індекс», який використовується для пошуку методом розширення вибірки.

Комбінуючи різні методи семплювання та індексування, можна будувати нові алгоритми. Різноманітність існуючих алгоритмів – це основна проблема, що виникає при їх експериментальній перевірці. Навіть поширені алгоритми мають безліч модифікацій, тому в наступних розділах наведені описи деякі з них.

1.3 Сигнатурні алгоритми. Розглянемо два сигнатурних алгоритми: хешування по сигнатурі [20] і частоті *trie*-дерева. В основі обох алгоритмів лежить буквене семплювання. У разі хешування по сигнатурі семпл перетворюється в сигнатурний вектор, який можна розглядати як запис числа в двійковому поданні. Таким чином, хеш-функція $H(a)$ однозначно визначає перетворення $F(w)$ рядка в ціле число. $F(w)$ є хеш-функцією і може бути використана для індексації словника.

Хешування по сигнатурі добре підходить для так званого «дискового» пошуку, коли сторінки індексу вибираються безпосередньо з диска, тому що в процесі пошуку зчитується відносно невелике число списків, які займають кілька послідовних дискових сторінок.

Для індексів, що завантажуються в пам'ять цілком, можна застосувати більш ефективний підхід, індексуючи замість бітової сигнатури частотний вектор. Імовірність появи слова із заданим частотним вектором значно менше, ніж імовірність появи слова із заданою сигнатурою за умови, що

сигнатурний і частотний вектори мають однаковий розмір, а також будуються за допомогою однієї і тієї ж хеш-функції $H(a)$. Саме тому структури даних на основі частотних векторів володіють потенційно більшою здатністю до скорочення перебору.

Списки частотних векторів коротше списків сигнатур, але число різних частотних векторів більше, ніж число сигнатурних. На відміну від хешування по сигнатурі для індексації частотних векторів не можна використовувати хеш-таблицю, ключем якої є частотний вектор, тому що перебір елементів такої таблиці займає надто багато часу.

1.4 Алгоритми n -грамної індексації. Розглянемо спочатку класичний алгоритм n -грам, заснований на інвертуванні. Вже більше 30 років n -грамна індексація використовується в області інформаційного пошуку.

Словникова n -грамна індексація заснована на наступній властивості: якщо слово u виходить із слова w в результаті не більше ніж k елементарних операцій редагування (за винятком перестановок символів), то при будь-якому поданні u у вигляді конкатенації з $k+1$ -го рядка, один з рядків такого подання буде точним підрядком w .

Цю властивість можна посилити, зауваживши, що серед підрядків уявлення існує такий, що різниця між його позицією в рядках w і u не більш k .

Таким чином, завдання пошуку зводиться до задачі вибірки всіх слів, що містять заданий підрядок. Для вирішення цього завдання зручно використовувати інвертування щодо набору n -грам слова.

Алгоритми, що засновані на індексації частотних векторів n -грам: kd -дерева і частотні n -грамні $trie$ -дерева. Частотні вектора n -грам будуються аналогічно приватним літерним векторам за допомогою хеш-функції, що відображає n -грами в цілі числа.

Kd -дерево [12] – це бінарне дерево, в якому кожен вузол задає розбиття простору на два підпростори. Однорозмірне kd -дерево – це звичайне бінарне дерево: у лівому піддереве вузла знаходяться елементи з меншими значеннями, чим в корні, у правому – з більшими. Після заповнення kd -дерева здійснюється його балансування. Відомо [12, 13], що середній час пошуку в збалансованому kd -дереві дорівнює $O(\log N)$, де N – число векторів. Час пошуку в гіршому випадку має порядок $O(N^{1-1/m} + M)$, де M – число векторів у вибірці.

Алгоритм пошуку векторів у kd -дереві є сублінейним, але алгоритм словникового пошуку в цілому на основі kd -дерев має лінійне зростання часу пошуку в залежності від розміру словника, тому що кількість слів, що мають заданий частотний вектор, приблизно пропорційна числу записів словника.

Реалізація частотного $trie$ -дерева для індексації векторів n -грам повністю аналогічна реалізації $trie$ -дерева для індексації буквених векторів.

Відрізняється лише умова обмеження перебору пошуку в дереві.

Введемо позначення:

$$Dist(u, v, l) = \sum_{i \leq l} |u_i - v_i|,$$

де u і v – частотні n -грамні вектора. Тоді вузол рівня i виключається з подальшого розгляду, якщо $Dist(u, v, i)$ більше ніж $k*n$, де k – максимально допустима відстань редагування, а n – розмір n -грами.

1.5 Спроксові $trie$ -дерева. Розглянемо алгоритми, описані в [16]. На самому верхньому рівні групуються слова з однаковою першою літерою. Ці слова складають окреме піддерево. Відповідно, на другому рівні дерева слова групуються за значенням другої літери, і т.д. Для вузлів, що мають тільки одного нащадка, застосовується алгоритм стиснення шляхів – такі вузли об'єднуються в один.

В процесі спуску по дереву відбувається обчислення матриці динамічного програмування. Для кожної букви, яка додається при спуску, необхідно обчислити новий стовпець матриці.

Якщо в процесі пошуку в останньому стовпці (або в останніх двох стовпчиках, якщо ми вважаємо транспозицію однією операцією редагування) немає елементів менших k , де k – максимально допустима відстань редагування, то піддерева поточного вузла можна виключити з подальшого пошуку.

Згідно з [16] алгоритм пошуку має складність:

$$O(\Sigma^k),$$

де Σ – розмір алфавіту.

1.6 Алгоритм послідовного перебору. При послідовному переборі рядки зчитуються послідовно і порівнюються безпосередньо з пошуковим зразком. Для порівняння рядків використовуються бітові алгоритми агрег [21]. Вибір обумовлюється високою ефективністю цих алгоритмів.

Незважаючи на те, що даний алгоритм працює повільно, далеко не всі реалізовані алгоритми набагато ефективніші послідовного перебору. Зокрема, для максимально допустимої відстані редагування, рівної двом рівням, багато алгоритмів виявляються повільнішими у разі чисто дискового пошуку.

1.7 Обґрунтування вибору методів нечіткого пошуку при реалізації веб-системи видавництва.

Веб-система видавництва має деякі особливості. Документи в систему завантажуються невеликими порціями – зазвичай це випуск журналу, що складається з декількох десятків статей. Перед відкриттям публічного доступу до цього випуску є достатня кількість часу для індексації. Статті зазвичай добре структуровані, так як практикується використання певного шаблону. У файлі зі статтею легко виділити назву, групу ключових слів, авторів, анотацію. Все це дозволяє оптимізувати пошукові алгоритми.

З іншого боку, обсяг матеріалів досить великий, що не дозволяє тримати весь індекс в пам'яті і з цього боку треба віддавати перевагу «дисковим» методам пошуку. Так само варто враховувати складність реалізації та розширення системи. Наприклад, організувавши нечіткий пошук за автором і за назвами статей, в подальшому може з'явитися необхідність створити індекси за ключовими словами або анотаціями. Додавання нових сутностей не повинно бути трудомістким. Також необхідно розглянути вже існуючі як комерційні, так і безкоштовні продукти, щоб впевнитись у тому, що розробка свого продукту є економічно доцільною.

2. Опис реалізації робочого процесу

Процес формування журналу починається з того, що видавництво домовляється з авторами про надсилання статей. На цьому етапі претендент на розміщення статті повинен отримати доступ на сайт і зможе завантажити статтю для журналу. У нього є можливість завантажити файл зі статтею в базу даних, а також заповнити назву статті, автореферат, вказати всіх авторів з усіма реквізитами і заповнити список ключових слів. Система допомагає в заповненні, розібравши текст статті і виділивши необхідну інформацію.

На наступному етапі до процесу підключаються редактори журналу і рецензенти. Вони перевіряють статтю та ведуть переписку з претендентом. Якщо стаття не матиме зауважень від рецензентів, то рецензент позначить, що вона пройшла контроль і просигналізує про це редактору.

Коли редактор отримує позитивні відгуки від усіх рецензентів, він зможе перевести статтю в статус «відрецензована», або ж у випадку негативних рецензій стаття може бути відхилена редактором. Як тільки буде затверджено остаточний список статей для випуску журналу, редактор перешле його на наступний етап підготовки до друку – у видавництво.

Працівники видавництва ще раз перевіряють зміст статей. Стаття проходить через коректорів, а також перевірку контенту. Перевірка контенту полягає в тому, щоб зміст статті збігався з тематикою журналу, а також щоб стаття була поміщена у відповідний розділ журналу. Також співробітники видавництва повинні будуть мати можливість додати у випуск журналу службову інформацію. По закінченню цього етапу випуск представлятиме собою список статей, кожній з яких відповідає файл з вмістом.

Для відправлення випуску до друку з них буде формуватися один PDF файл, у який автоматично буде додаватися зміст і програми у вигляді списку ключових слів і посилань на статті. Після опублікування випуску, видавництво позначить його в базі як доступний для публічного доступу, тобто до нього отримають доступ всі відвідувачі публічної

частини сайту. Всі статті з випуску мають пройти повнотекстову індексацію, і пошукова система сайту отримає можливість здійснювати пошук за побудованими індексами.

З будь-якої сторінки сайту можна використовувати форму пошуку. Після введення слова або фрази система зробить його пошук, використовуючи повнотекстовий каталог, і переадресує браузер на сторінку з результатами.

У веб-системі реалізована так звана концепція фасетного пошуку. Його основні переваги:

- зручність і ергономічність: навіть для людини мало знайомої з інтернетом не складе труднощів вибрати потрібну статтю.

- інтерактивність: задаючи параметри фільтра, миттєво отримуємо результат.

- селективність: користувач може максимально точно відібрати з будь-якого різноманіття, представленого на сайті матеріалу, потрібний саме йому.

Однак основне навантаження з пошуку статей лягає на повнотекстовий пошук. І, звичайно, особливе місце має бути приділено алгоритмам нечіткого пошуку. Для визначення найбільш відповідного алгоритму було зроблено огляд поширених алгоритмів, виділені переваги і недоліки кожного з них.

3. Рекомендації щодо проектування програмної підсистеми нечіткого пошуку веб-системи видавництва

Порівняння алгоритмів дозволяє визначити явно непридатні для практичного використання: індексація частотних n-грамних векторів у вигляді trie-дерева і алгоритм послідовного перебору. З найбільш ефективних алгоритмів слід зазначити алгоритми n-грам, trie-дерев, а також сигнатурні алгоритми, які забезпечують хороше співвідношення між розміром індексу і швидкістю пошуку.

В якості основи для реалізації системи розпізнавання був рекомендований метод n-грам, який забезпечує швидкий пошук на основі словника грамів (підрядків) і може бути використаний на всіх етапах. На першому етапі всі атрибути пошуку склеюються в один рядок. Наприклад, прізвище, ім'я та по батькові будуть оброблятися як один рядок "ПІБ". Даний спосіб формування рядків для порівняння дає недостатньо точний, але швидкий результат при пошуку.

На другому етапі результати пошуку першого етапу будуть уточнюватися, проходячи додаткову перевірку шляхом обчислення релевантності та відстаней для окремих атрибутів пошуку з урахуванням різних вагових коефіцієнтів, що підбираються експериментально. Наприклад, якщо два рядки з ПІБ збіглися з релевантністю 90%, але при порівнянні прізвищ отримана релевантність 60%, то незважаючи на

100% збігу імен та по батькові, можна відкинути результат першого етапу, як помилковий.

Така система може бути реалізована за допомогою збережених процедур і функцій, службові таблиці для зберігання підрядків-грамів можуть бути розміщені в окремій схемі бази даних. Система може бути легко поширена. Для додавання нового типу пошуку потрібно тільки додати в систему таблицю зберігання грамів і методи обчислення релевантності даного класу.

Висновки

Більшість алгоритмів нечіткого пошуку з індексацією не є істинно сублінійними (тобто мають асимптотичне час роботи $O(\log n)$ або нижче), і їх швидкість роботи зазвичай безпосередньо залежить від n . Тим не менш, численні удосконалення і доопрацювання дозволяють досягти достатньої малого часу роботи навіть при досить великих обсягах словників.

Існує також ще безліч різноманітних і неефективних методів, заснованих, крім усього іншого, на адаптації різних, вже де-небудь застосовуваних технік і прийомів до даної предметної області. Є й алгоритми, засновані на оригінальних підходах, наприклад, алгоритм Маасса-Новака, який хоч і має сублінійний асимптотичний час роботи, але є вкрай неефективним із-за величезних констант, які проявляються у вигляді величезного розміру індексу.

Практичне використання алгоритмів нечіткого пошуку у реальних пошукових системах тісно пов'язано з фонетичними алгоритмами, алгоритмами лексичного стеммінгу – виділення базової частини у різних словоформ одного і того ж слова (наприклад, таку функціональність надають Snowball і Яндекс), а також з ранжуванням на основі статистичної інформації, або ж з використанням складних витончених метрик.

Перелік посилань: 1. Trados, computer aided translation software. <http://www.trados.com/>. 2. C.J. van Rijsbergen. Information Retrieval, 1979. The homepage of C.J. Rijsbergen. <http://www.dcs.gla.ac.uk/Keith/Preface.html>. 3. U. Masek, M. S. Peterson. A faster algorithm for computing string-edit distances. In Journal of Computer and System Sciences, volume 20(1), pages 785-807, 1980. 4. E.W. Myers. A Fast Bit-Vector Algorithm for Approximate String Matching Based on Dynamic Programming, In Journal of the ACM (JACM), volume 46(3), pages 395 – 415, 1998. 5. E. Ukkonen. Algorithms for approximate string matching. In Information and Control, volume (64), pages 100-118, 1985. 6. E. Ukkonen. Finding approximate patterns in strings, $O(k * n)$ time. In Journal of Algorithms volume 6, pages 132-137, 1985. 7. E. Ukkonen. Approximate String Matching with qGrams and maximal matches. In Theoretical Computer Science, volume 92(1), pages 191-211, 1992. 8. R.A. Wagner and M.J. Fisher. The String to String Correction Problem. In Journal of the ACM, volume 21(1), pages 168-173, 1974. 9. S. Wu, U. Manber. Fast Text Searching with Errors. In Communications of the ACM, volume 35 pages 83-91, 1992. 10. G. Navarro, R. Baeza-Yates. A Practical q-Gram Index for Text Retrieval

Allowing Errors. In CLEI Electronic Journal, volume 1(2), 1998, <http://www.clei.cl>. 11. Proceedings of the 5th South American Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE'98), R. Baeza-Yates and G. Navarro. Fast Approximate String Matching in a Dictionary, pages 14-22, 1998. 12. J.L. Bentley. Multidimensional Binary Search Trees Used for Associative Searching. In Communication of the ACM, volume 18(9), 1975. 13. Philippe Chanzy, Luc Devroye, Carlos ZamoraCura. Analysis of range search for random k-d trees. In Acta informatica, volume 37, issue 4-5, pages 355 – 383, 2000. 14. Proceedings of the fourth annual ACM-SIAM Symposium on Discrete algorithms P.N. Yianilos. Data Structures and Algorithms for Nearest. 15. Д. Кнут, Искусство программирования. 3-е изд. М. Издательский дом "Вильямс", 2000. 16. Н. Shang, T.H. Merret. Tries for Approximate String Matching. In IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, volume 8(4), pages 540–547, 1996. 17. Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Докл. АН СССР – 1965. – Т.163, №4. – С.845-848. 18. Proceedings of the 25th International Conference on Very Large Databases. A. Gionis, P. Indyk, R. Motwani. Similarity Search in High Dimensions via Hashing, pages 518-529. 1999. 19. Database researchgroup papers web-page. Technical Report of University of Wisconsin. J.M. Hellerstein, A. Pfeffer. The RD-tree: an index structure for sets. <http://db.cs.berkeley.edu/papers/> 20. Бойцов Л.М. Использование хеширования по сигнатуре для поиска по сходству // Прикладная математика и информатика. ВМиК МГУ. – 2001. – №8. – С.135-154.

Надійшла до редколегії 21.03.2014

УДК 681.3.069

Использование методов нечеткого поиска при реализации веб-систем издательства научных журналов / З.В. Дударь, М.С. Широкопетлева, А.В. Махин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 99–103.

Приведена классификация и сравнительный анализ существующих алгоритмов нечеткого словарного поиска. Проанализированы: алгоритм последовательного перебора, модификации n -граммных алгоритмов, trie-деревья, метрические деревья, kd -деревья, а также менее распространенные сигнатурные алгоритмы. Выявлены сферы применения алгоритмов поиска и показана возможность их использования при реализации веб-системы издательства научных журналов.

Библиогр.: 20 наим.

UDK 681.3.069

Use fuzzy search methods in implementing web-based system of scientific journal publishing / Z.V. Dudar, M.S. Shirokopetleva, A.V. Makhin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 99–103.

Objective is to classify and to provide a taxonomy of modern dictionary (the so called off-line) fuzzy search algorithms as well as results of their comparison. Among reviewed algorithms are agreed sequential search algorithm, modifications of n -gram indexing algorithm, tries, kd -trees, metric trees and less common signature algorithms: signature hashes and frequency-vector tries. Unlike most other papers, there were analyze not only memory indexes, but also indexes stored on disc. There was identified the scope of the search algorithms and the possibility of their usage for realization of a web-based system for scientific journals publisher was demonstrated.

Ref.: 20 items.

УДК 519.816



Е. В. Высоцкая, А. Н. Страшненко, Ю. А. Демин, И. В. Прасол

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, diagnost@kture.kharkov.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕСТИ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМОЙ И ВЫБОР ЛЕЧЕНИЯ

Статья посвящена определению тяжести состояния пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и выбору ее лечения с учетом профессиональных и личностных качеств экспертов, а также психологической устойчивости при согласованности их мнений. Это позволило повысить качество жизни больных с ПОУГ, что будет способствовать снижению инвалидизации трудоспособного населения.

ВЫБОР ЛЕЧЕНИЯ, ПЕРВИЧНАЯ ОТКРЫТОУГОЛЬНАЯ ГЛАУКОМА, ДИАГНОСТИКА, МАТРИЦА ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕСТИ СОСТОЯНИЯ

Введение

Проблема глаукомы как заболевания, ведущего к снижению зрения, а порой к полной его утрате, в настоящее время остается одной из актуальных в современной офтальмологии. По данным ряда авторов распространенность глаукомы среди лиц старше сорока лет в индустриально развитых странах достигает 8% [1, 2]. Около 67 млн. человек болеют глаукомой, и по прогнозам, до 2030 года их число удвоится. Глаукома делит 2-3 место среди причин слепоты во всем мире, ослепших от глаукомы насчитывается уже более 5 млн. человек.

Первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) – наиболее часто встречающаяся форма глаукоматозного процесса, составляет от 70 до 90% от всех видов глауком. Согласно современным представлениям о патогенезе ПОУГ, главным симптомом считается наличие глаукомной оптической нейропатии, сопровождающейся развитием структурных изменений диска зрительного нерва (ДЗН) и патологическими изменениями поля зрения. Ранняя диагностика степени тяжести ПОУГ и своевременное лечение выявленной стадии – залог успешного приостановления дальнейшего развития глаукоматозных изменений.

1. Анализ методов диагностики первичной открытоугольной глаукомы и выбора ее лечения

Существует множество методов и методик диагностики ПОУГ и выбора ее лечения. Рассмотрим некоторые из них.

Известна методика для Гейдельбергского ретинального томографа (HRT 3.0), которая базируется на сравнении данных обследуемого пациента с моделями нормального (здорового) ДЗН и ДЗН, характерного для начальной стадии глаукомы. Структурная оценка ДЗН основывается на таких параметрах, как ширина и глубина экскавации, угол наклона нейроретинального пояса, горизонтальная и вертикальная кривизна перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки. Результатом исследования является цифровой показатель, указывающий на вероятность, с которой обследуемый

может быть отнесен к популяции с начальной глаукомой [3].

Однако далеко не всегда на основании оценки только морфометрических показателей ДЗН и сетчатки удается установить диагноз ПОУГ. Исследование поля зрения у больных глаукомой в диагностике и лечении ПОУГ имеет также важное значение.

Автором работы [4] был предложен интегральный показатель эффективности лечения (ИПЭ) для учета исходного состояния центрального поля зрения при мониторинге больных глаукомой:

$$\text{ИПЭ} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N=11} k_i \left(\frac{t1_i - t2_i}{t1_i} \right),$$

где i – порядковый номер измерений ($N=11$); k_i – весовой коэффициент для соответствующей зоны; $t1_i$ – время сенсомоторной реакции i -го измерения при первичном исследовании (до); $t2_i$ – время сенсомоторной реакции i -го измерения при повторном исследовании (после).

Однако в данной работе не регистрируются и не учитываются изменения важных морфологических (состояние ДЗН) критериев динамики глаукомного процесса. Это не позволяет в полной мере судить о стабилизации заболевания и адекватности проводимой терапии.

В работе [10] авторами с помощью корреляционного анализа установлена взаимосвязь между толерантным давлением, возрастом пациента, диастолическим уровнем артериального давления, переднезадним размером глазного яблока и центральной толщиной роговицы у больных с начальной стадией первичной открытоугольной глаукомы, которая характеризовалась следующей формулой:

$$P_0tl = 19,6 + 0,056 \cdot \text{АД диаст.} - 0,015 \cdot \text{В} - 0,78 \cdot \text{ПЗР} + 0,021 \cdot \text{ЦТР},$$

где: P_0tl – толерантное истинное внутриглазное давление, мм. рт.ст.; АД диаст. – уровень диастолического артериального давления в плечевой артерии (мм.рт.ст); В – возраст пациента; ПЗР – переднезад-

ний размер глазного яблока (мм); ЦТР – центральная толщина роговицы (мкм).

К недостаткам можно отнести отсутствие возможности классификации пациентов с ПОУГ по степени тяжести заболевания и выбора соответствующего лечения.

Также в настоящее время известно, что с помощью самообучающихся искусственных нейронных сетей (ИНС) проводится ранняя диагностика ПОУГ, прогнозируется развитие цилиохориоидальной отслойки при антиглаукомных операциях, осуществляется прогноз ранних послеоперационных осложнений в хирургии ПОУГ [5-8].

В работе [9] обучение ИНС осуществлялось автоматически на основе созданных 10 баз данных. Каждая из них соответствовала определенному году десятилетнего периода наблюдения за пациентами. Созданные таким образом базы включали 250 входных параметров (с учетом длительности наблюдения в течение 5-10 лет). Выходной параметр – принадлежность к классу – это прогноз заболевания. Благоприятное течение ПОУГ – 1, неблагоприятное – 2. Предложенный метод позволил выявить значимость следующих входных параметров: окраска ДЗН, стадия глаукомы, наличие атеросклероза, наличие сахарного диабета, сужение полей зрения с периферии, размер экскавации ДЗН.

Однако основными недостатками нейросетей являются высокие требования к непротиворечивости обучающей выборки и ресурсоемкость процесса обучения.

Также известен метод уточнения стадии ПОУГ [11], который на основании формализации экспертных оценок и учета обратных связей между показателями позволяет определить степень тяжести заболевания при наблюдаемых признаках у конкретного пациента и назначить соответствующее лечение [11]. Данный метод заключается в том, что на основании сформулированных альтернатив, критериев и подкритериев строится сетевая модель для определения стадии и выбора метода лечения ПОУГ. Далее формируется суперматрица сети для задачи уточнения стадии ПОУГ и выбора ее лечения, состоящая из матриц-блоков:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Стадия} & \text{Признаки} & \text{Лечение} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Стадия} \\ \text{Признаки} \\ \text{Лечение} \end{matrix} & \left\| \begin{array}{ccc|c} 0 & W_{12} & 0 & \\ W_{21} & W_{22} & 0 & \\ W_{31} & 0 & I & \end{array} \right\| \end{matrix}$$

Данные матрицы заполняются экспертами (врачами-офтальмологами) на основании их опыта и знаний с использованием шкалы Саати. После этого происходит определение векторов локальных приоритетов для данных матриц и проверка согласованности мнений экспертов. Приоритеты, записанные в матрице W_{12} , указывают на наиболее

вероятный диагноз, которому соответствуют наблюдаемые признаки. На уровне признаков в матрице W_{21} записаны приоритеты, показывающие, какой признак является более характерным для данной стадии ПОУГ. Матрица W_{22} показывает взаимные связи между признаками, которые представляются экспертными суждениями. Приоритеты, записанные в матрице W_{31} , показывают какой из альтернативных методов является более подходящим для лечения данной стадии ПОУГ. Затем суперматрица приводится к стохастическому виду и возводится в предельные степени. Предельные приоритеты, полученные из предельной суперматрицы, можно использовать для выбора метода лечения наиболее вероятной стадии ПОУГ с наблюдаемыми признаками.

Недостатком данного метода является то, что не учитываются профессиональные и личностные качества экспертов, а также психологическая устойчивость их мнений, что оказывает влияние на получение качественного результата экспертизы, а также недостаточная уверенность в принятии правильного решения врачом-офтальмологом при выборе метода лечения ПОУГ.

Целью работы является определение тяжести состояния пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и выбор ее лечения с учетом профессиональных и личностных качеств экспертов, а также психологической устойчивости при согласованности их мнений.

2. Определение тяжести состояния пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и выбор лечения

Для определения тяжести состояния пациентов с ПОУГ и выбора ее лечения были обследованы 550 больных, находившихся на лечении с 2006 по 2010 г в Харьковской городской больнице №14 им. Л.Л. Гиршмана. Все пациенты были разделены на следующие группы:

- 1-я группа – 124 пациента с ПОУГ I-й стадии;
- 2-я группа – 132 пациента с ПОУГ II-й стадии;
- 3-я группа – 143 пациента с ПОУГ III-й стадии;
- 4-я группа – 151 пациент с ПОУГ IV-й стадии.

Все больные 4-х групп были разделены на подгруппы. В первую подгруппу группы 1 (102 пациента) были включены больные, получившие медикаментозное лечение. Вторую и третью подгруппы группы 1 составили 11 пациентов, которым потребовалось проводить лазерное и хирургическое лечение соответственно. Группу 2 составили следующие 3 подгруппы: 1-я – 78 пациентов, которым была назначена медикаментозная терапия; 2-я – 21 пациент, получивший лазерное лечение, и 3-я – 33 пациента, нуждающиеся в хирургическом вмешательстве. В первую подгруппу группы 3 (34 пациента) вошли больные, получившие медикаментозное

лечение. Вторую подгруппу группы 3 составили 7 пациентов, которым проводилось лазерное лечение. Третью подгруппу группы 3 составили 102 пациента, которым было назначено хирургическое лечение. В группу 4 входили следующие 3 подгруппы: 1-я – 29 пациентов, которым проводилась медикаментозная терапия; 2-я – 5 пациентов, получивших лазерное лечение и 3-я – 117 пациентов, которым проводилось хирургическое вмешательство. Правильность правильно подобранного направления лечения была подтверждена врачами-офтальмологами при повторном посещении пациентов, отмечалась стабилизация глаукомного процесса.

Определение тяжести состояния пациента и выбор лечения иллюстрируется следующим клиническим примером.

На первом этапе была сформирована экспертная группа. Далее экспертами формируются альтернативы, критерии и подкритерии.

Для задачи определения тяжести течения ПОУГ в качестве альтернатив, составляющих набор C_o , выступают 4 степени тяжести заболевания, а именно: S_1' – I стадия (начальная); S_2' – II стадия (развитая); S_3' – III стадия (далеко-зашедшая); S_4' – IV стадия (терминальная). В качестве критериев используются показатели e_{ki} , наиболее выражено характеризующие течение ПОУГ: 14 морфометрических показателей ДЗН, полученных в результате конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии (НРТ-II): e_{k1} – площадь ДЗН (мм²); e_{k2} – площадь нейроретинального пояска (мм²); e_{k3} – объем нейроретинального пояска (мм³); e_{k4} – площадь экскавации ДЗН (мм²); e_{k5} – объем экскавации ДЗН (мм³); e_{k6} – отношение площади экскавации к площади ДЗН; e_{k7} – отношение диаметра экскавации к диаметру ДЗН; e_{k8} – средняя глубина экскавации (мм); e_{k9} – максимальная глубина экскавации (мм); e_{k10} – полная трехмерная форма экскавации; e_{k11} – высота вариации поверхности сетчатки вдоль контурной линии (мм); e_{k12} – средняя толщина слоя нервных волокон по краю ДЗН (мм); e_{k13} – площадь поперечного сечения нервных волокон по краю ДЗН (мм²); e_{k14} – референтная высота, и 8 показателей поля зрения: e_{k15} – верхний радиус (град.); e_{k16} – верхненосовой радиус (град.); e_{k17} – носовой радиус (град.); e_{k18} – нижненосовой радиус (град.); e_{k19} – нижний радиус (град.); e_{k20} – нижневисочный радиус (град.); e_{k21} – височный радиус (град.); e_{k22} – верхневисочный радиус (град.). Подкритериями выступают градации каждого диагностического показателя, которые были определены экспертным путем для соответствующих стадий ПОУГ. Для задачи выбора направления лечения ПОУГ в качестве альтернатив выступают три направления лечения ПОУГ: медикаментозное (консервативное)

P_i , лазерное Z_i и хирургическое N_i . В качестве критериев выступают стадии заболевания. Для оценки различных направлений лечения в качестве альтернатив, составляющих набор C_3 , выступают различные группы лекарственных препаратов P_i , виды лазерных Z_i и хирургических вмешательств N_i . Подкритериями, составляющими набор C_{ii} , являются характеристики e_{ii} , по которым сравниваются различные виды лечения.

Для определения стадии ПОУГ вначале производилось ранжирование критериев по важности. Эксперты врачи-офтальмологи считают, что при выявлении ПОУГ на ранней стадии развития наиболее вероятными являются изменения диска зрительного нерва (ДЗН), чем изменения поля зрения (ПЗ):

$$e_{k1-14} > e_{k15-22}.$$

На следующем этапе на основе выбранных альтернатив, критериев и подкритериев происходит формирование матриц парных сравнений следующего вида:

$$A = [a_{11} a_{12} \dots a_{1n}; a_{21} a_{22} \dots a_{2n}; \dots; a_{n1} a_{n2} \dots a_{nn}],$$

$$B = [b_{11} b_{12} \dots b_{1n}; b_{21} b_{22} \dots b_{2n}; \dots; b_{m1} b_{m2} \dots b_{mm}],$$

$$L = [l_{11} l_{12} \dots l_{1l}; l_{21} l_{22} \dots l_{2l}; \dots; l_{l1} l_{l2} \dots l_{ll}],$$

где матрица $A (n \times n)$ – показатели относительно стадии, $B (m \times m)$ – стадии относительно конкретного признака, $L (l \times l)$ – виды лечения относительно степени тяжести заболевания.

В качестве примера приведем матрицу парных сравнений B стадий относительно изменения ДЗН:

Изменения ДЗН	S_1'	S_2'	S_3'	S_4'
S_1'	1	8	9	9
S_2'	1/8	1	2	3
S_3'	1/9	1/2	1	1
S_4'	1/9	1/3	1	1

Элемент данной матрицы b_{ij} – это численное выражение отношения веса i -го элемента к весу j -го элемента.

При заполнении матрицы врач-эксперт отвечал на вопрос: какая из двух стадий ПОУГ с большей вероятностью вызывает появление изменений ДЗН и с насколько большей вероятностью?

Аналогичным образом были получены матрицы парных сравнений показателей относительно стадий заболевания. Одна из матриц парных сравнений A представлена ниже.

При заполнении матрицы A эксперт отвечал на вопрос: какой из двух признаков является более характерным для данной стадии ПОУГ и насколько более характерным?

Матрица парных сравнений показателей ДЗН относительно I стадии ПОУГ:

I стадия	e_{k1}	e_{k2}	e_{k3}	e_{k4}	e_{k5}	e_{k6}	e_{k7}	e_{k8}	e_{k9}	e_{k10}	e_{k11}	e_{k12}	e_{k13}	e_{k14}
e_{k1}	1	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	0	0	0	0	0	1/4	1/4	0
e_{k2}	2	1	1	1	1	1	0	3	3	3	3	1/3	1/3	0
e_{k3}	3	1	1	2	1	2	0	0	0	0	0	1/2	1/2	0
e_{k4}	2	1	1	1	1/2	2	3	3	3	3	3	1/3	1/3	2
e_{k5}	3	1	1/2	2	1	2	0	0	0	0	0	1/2	1/2	0
e_{k6}	2	1	1	1/2	1/2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
e_{k7}	0	1	1/2	1/3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
e_{k8}	0	0	0	1/3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_{k9}	0	1/3	0	1/3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
e_{k10}	0	1/3	0	1/3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
e_{k11}	0	1/3	0	1/3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
e_{k12}	4	1/3	2	3	2	0	0	0	0	0	0	1	1	4
e_{k13}	4	1/3	2	3	2	0	0	0	0	0	0	1	1	4
e_{k14}	0	0	0	1/2	0	0	0	0	0	0	0	1/4	1/4	1

Для задачи выбора лечения после уточнения экспертных оценок с учетом комплексной оценки значимости их мнения были сформированы матрицы парных сравнений вида L .

Матрица парных сравнений методов лечения ПОУГ для диагноза I стадия глаукомы (средняя) имеет вид:

S_1'	L_1	L_2	L_3
L_1	1	8	7
L_2	1/8	1	1/2
L_3	1/7	2	1

При заполнении матрицы вида L врач-эксперт отвечал на вопрос: какое из двух направлений лечения ПОУГ является более предпочтительным для лечения данной стадии ПОУГ?

При заполнении матриц эксперты использовали ранговые оценки: одинаково, умеренно, сильно, очень сильно и чрезвычайно сильно. Этим оценками соответствовали конкретные числа: 1, 3, 5, 7, 9. Промежуточные значения 2, 4, 6, 8 использовались как компромисс между соседними вербальными оценками. Для представления «обратных» предпочтений применялись обратные величины, т. е. 1/2, 1/3, ..., 1/9. Такая шкала пригодна для сравнения однородных элементов любой природы.

Далее происходит уточнение мнения экспертов с учетом комплексной оценки значимости их мнения. Для этого каждый элемент матрицы умножается на соответствующий коэффициент значимости мнения каждого эксперта:

$$a'_{ij} = k_i^o \cdot a_{ij}. \quad (5)$$

В результате чего получают матрицы A' , B' , L' .

После уточнения мнений экспертов матрица парных сравнений B' относительно изменения ДЗН (табл. 1) примет вид:

Изменения ДЗН	S_1'	S_2'	S_3'	S_4'
S_1'	1	7	8	8
S_2'	1/7	1	2	2
S_3'	1/8	1/2	1	1
S_4'	1/8	1/2	1	1

Полученные оценки корректируются таким образом, чтобы они не противоречили вычисленным с помощью диагностического индикатора.

Диагностические индикаторы η_{ik} признаков относительно стадий заболевания можно оценить через экспертную оценку ($k=0$) и через взвешенную сумму показателей, характеризующих стадии заболевания ($k=1$). При оценке стадий относительно признаков вместо $k=1$ используется $k=2$, а при выборе лечения – $k=3$. При этом $\eta_{i1} = A \cdot \varpi_{io}$, $\eta_{i2} = B \cdot \varpi_{io}$, а $\eta_{i3} = L \cdot \varpi_{io}$, где ϖ_{io} – веса важности показателей.

Диагностический индикатор η_{i0} определяется по формуле:

$$\eta_{i0}^I = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a'_{ij}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a'_{ih}}, \quad \eta_{i0}^{II} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m b'_{ij}} / \sum_{i=1}^m \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m b'_{ih}},$$

$$\eta_{i0}^{III} = \sqrt[l]{\prod_{j=1}^l l'_{ij}} / \sum_{i=1}^l \sqrt[l]{\prod_{k=1}^l l'_{ih}},$$

где η_{i0}^I – диагностические индикаторы признаков относительно стадий; η_{i0}^{II} – диагностические ин-

дикаторы стадий ПОУГ относительно признаков; η_{i0}'' — диагностические индикаторы направлений лечения; a_{ij}' , b_{ij}' , l_{ij}' — численные выражения отношения веса i -го элемента к весу j -го элемента; a_{ih}' , b_{ih}' , l_{ih}' — численные выражения отношения веса i -го элемента к весу h -го элемента.

Были рассчитаны диагностические индикаторы η_{i0}'' стадий заболевания относительно изменений ДЗН:

$$\begin{aligned} \eta_{10}'' &= 0,7110 \\ \eta_{20}'' &= 0,1344 \\ \eta_{30}'' &= 0,0773 \\ \eta_{40}'' &= 0,0773 \end{aligned}$$

Диагностические индикаторы η_{i0}' признаков относительно I стадий ПОУГ приведены ниже:

$$\begin{aligned} \eta_{10}' &= 0,0380; \eta_{60}' = 0,0573; \eta_{110}' = 0,0233; \\ \eta_{20}' &= 0,0745; \eta_{70}' = 0,0220; \eta_{120}' = 0,1946; \\ \eta_{30}' &= 0,1053; \eta_{80}' = 0,0233; \eta_{130}' = 0,1946; \\ \eta_{40}' &= 0,0713; \eta_{90}' = 0,0233; \eta_{140}' = 0,0431. \\ \eta_{50}' &= 0,1053; \eta_{100}' = 0,0233. \end{aligned}$$

Полученные диагностические индикаторы η_{i0}''' направлений лечения относительно I-й стадии ПОУГ представлены ниже:

$$\begin{aligned} \eta_{10}''' &= 0,7838 \\ \eta_{20}''' &= 0,0813 \\ \eta_{30}''' &= 0,1349 \end{aligned}$$

Для получения вектора весов важности показателей $\varpi_{i0}' = \langle \varpi_{i0}', \dots, \varpi_{n0}' \rangle^T$ использовался метод главных компонент.

Аналогичным образом были получены веса важности показателей ϖ_{i0}'' и ϖ_{i0}''' .

Были рассчитаны диагностические индикаторы η_{i2}'' стадий заболевания относительно изменений ДЗН:

$$\begin{aligned} \eta_{12}'' &= 0,7249 \\ \eta_{22}'' &= 0,1642 \\ \eta_{32}'' &= 0,0629 \\ \eta_{42}'' &= 0,0629 \end{aligned}$$

Аналогичным образом были получены диагностические индикаторы η_{i1}'' и η_{i3}'' .

Полученные веса важности показателей ϖ_{i2}' :

$$\begin{aligned} \varpi_{12}'' &= 0,6751; \\ \varpi_{22}'' &= 0,1840; \\ \varpi_{32}'' &= 0,0704; \\ \varpi_{42}'' &= 0,0704 \end{aligned}$$

были вычислены по формуле:

$$\varpi_{i2}'' = (B^T B + \gamma^2 I)^{-1} (B^T \eta_{i0}'' + \gamma^2 \varpi_{i0}''),$$

где B^T — транспонированная матрица; I — единичная матрица, размерность которой равна размерности $B^T B$; весовой множитель $\gamma^2 \in (0, \infty)$ определяет степень компромисса между оценкой стадий и показателей. При малых значениях γ^2 в большей степени учитывается экспертная оценка стадий, а при больших значениях γ^2 — экспертная оценка показателей. γ^2 принят равным единице. ϖ_{i1}'' и ϖ_{i3}'' вычисляются аналогичным образом.

Любая матрица экспертных суждений в общем случае не согласована, так как суждения отражают субъективные мнения. Для того чтобы полученные результаты были адекватны ситуации, в которой принимается решение, необходимо, чтобы в матрицах парных сравнений достигались требуемые уровни согласованности данных.

Отношение согласованности \varnothing_{Sk} получается путем сравнения индекса согласованности I_{Sk} с соответствующим числом I_{SSk} из множества, где каждое число является математическим ожиданием случайного индекса согласованности, вычисленное на большой выборке случайно сгенерированных обратно симметричных матриц, элементами которых являются числа со шкалы 1/9, 1/8 ... 1/2, 1, 2, ..., 8, 9:

$$\Delta_{Sk} = \frac{I_{Sk}}{I_{SSk}},$$

где I_{Sk} определяется как $I_{Sk}' = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{ik}' * \left(\sum_{j=1}^n a_{ji}' \right) - n}{n-1}$,

$$I_{Sk}'' = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{ik}'' * \left(\sum_{j=1}^m b_{ji}'' \right) - m}{m-1}, I_{Sk}''' = \frac{\sum_{i=1}^l \eta_{ik}''' * \left(\sum_{j=1}^l l_{ji}''' \right) - l}{l-1}.$$

Для оценки того, что полученное согласование приемлемо, величина ошибки согласованности, полученной на основании исходных оценок, сравнивается с ошибкой, полученной в результате вычисленных оценок.

Величина ошибки согласованности \varnothing_{Sk} не должна превышать порогового значения 0,1. В противном случае эксперту рекомендуется пересмотреть свои суждения.

Например, для матрицы парных сравнений B' стадий относительно изменения ДЗН были получены следующие результаты. Ошибка согласованности \varnothing_{S0}'' , полученная на основании исходных оценок η_{i0}' , составила 0,0206, а на основании вычисленных оценок η_{i2}'' ошибка согласованности $\varnothing_{S2}'' = 0,0158$. При этом обе согласованности приемлемы, поскольку $\varnothing_{Sk} < 0,10$. Однако в качестве локальных приоритетов будут выступать диагностические индикаторы η_{i2}'' , для которых ошибка согласованности оказалась наименьшей. Аналогичным образом были рассчитаны ошибки согласованности \varnothing_{S1}'' и \varnothing_{S3}'' , которые сравнивались с ошибками \varnothing_{S0}'' и \varnothing_{S0}''' .

Затем на основании полученных локальных приоритетов η_{i1} η_{i2} происходит формирование суперматрицы для задачи определения степени тяжести ПОУГ. Суперматрица для задачи уточнения стадии ПОУГ представлена на рис. 1.

Далее происходит приведение полученной суперматрицы к стохастическому виду (рис. 2) и возведение ее в предельные степени (рис. 3).

Предельные приоритеты стадий ПОУГ относительно признаков для предельной суперматрицы представлены в табл. 1

Результат парных сравнений элементов можно представить в следующем виде:

$$S_1' > S_2' > S_3' > S_4'$$

Из таблицы видно, что максимальное значение обобщенного критерия соответствует I стадии ПОУГ (0,71069). Полученный результат соответствует клиническим данным.

После этого определялись результирующие приоритеты альтернатив путем умножения предельных приоритетов стадий ПОУГ на векторы приоритетов альтернативных методов лечения ПОУГ.

Полученные приоритеты показывают, какой из альтернативных методов является оптимальным для лечения I-й стадии ПОУГ. Анализируя

полученные результаты, врач-офтальмолог принимает решение, что для данного пациента целесообразно применить медикаментозное лечение (0,7037). При повторном посещении пациента была диагностирована стабилизация глаукомного процесса.

Таблица 1

Предельные приоритеты стадий ПОУГ

	Приоритеты из предельной матрицы	Приоритеты, нормированные по компонентам (кластерам)
S_1'	0,0554	0,7107
S_2'	0,2368	0,1662
S_3'	0,0214	0,0645
S_4'	0,0195	0,0586

Полученные результаты диагностики и лечения ПОУГ, выполненные по разработанному методу определения тяжести состояния пациентов с ПОУГ и выбора лечения и с помощью метода уточняющей диагностики ПОУГ (метода-прототипа) [11], представлены в табл. 2.

В результате исследований у 543 пациентов из 550 была правильно установлена степень развития ПОУГ и корректно подобрано лечение, которое

		Альтернативы				Критерии	
		I стадия	II стадия	III стадия	IV стадия	Изменение ДЗН	Изменение ПЗ
Альтернативы	I стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7249	0.6812
	II стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1642	0.2071
	III стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0629	0.0590
	IV стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0629	0.0526
Критерии	Изменение ДЗН	0.7500	0.6666	0.5000	0.5000	0.0000	1.0000
	Изменение ПЗ	0.2500	0.3333	0.5000	0.5000	1.0000	0.0000

Рис. 1. Суперматрица для задачи уточнения стадии ПОУГ

		Альтернативы				Критерии	
		I стадия	II стадия	III стадия	IV стадия	Изменение ДЗН	Изменение ПЗ
Альтернативы	I стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3665	0.3406
	II стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0676	0.1035
	III стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0343	0.0295
	IV стадия	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0315	0.0263
Критерии	Изменение ДЗН	0.7500	0.6666	0.5000	0.5000	0.0000	0.5000
	Изменение ПЗ	0.2500	0.3333	0.5000	0.5000	0.5000	0.0000

Рис. 2. Стохастическая суперматрица для задачи уточнения стадии ПОУГ

		Альтернативы				Критерии	
		I стадия	II стадия	III стадия	IV стадия	Изменение ДЗН	Изменение ПЗ
Альтернативы	I стадия	0.0554	0.0554	0.0554	0.0554	0.0554	0.0554
	II стадия	0.2368	0.2368	0.2368	0.2368	0.2368	0.2368
	III стадия	0.0214	0.0214	0.0214	0.0214	0.0214	0.0214
	IV стадия	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195
Критерии	Изменение ДЗН	0.3789	0.3789	0.3789	0.3789	0.3789	0.3789
	Изменение ПЗ	0.2876	0.2876	0.2876	0.2876	0.2876	0.2876

Рис. 3. Предельная суперматрица для задачи уточнения стадии ПОУГ

было подтверждено в динамике при исследовании ДЗН и поля зрения. При этом по методу-прототипу адекватное лечение получили 538 пациентов в соответствии с верно установленными стадиями ПОУГ. При этом коэффициент медицинской результативности, который определялся как отношение числа пациентов с достигнутым медицинским результатом к общему их числу [12], с помощью разработанного метода составил 0,987, а по методу-прототипу – 0,978.

Таблица 2

Результаты диагностики и лечения ПОУГ

Стадия	n'	Метод-прототип		Разработанный метод	
		n ₂	%	n ₂	%
I	124	6	4,8	3	2,4
II	132	4	3	2	1,5
III	143	2	1,4	2	1,4
IV	151	0	0	0	0

где n' – количество обследуемых пациентов с фактической стадией ПОУГ; n₂ – количество ошибочно определенных стадий ПОУГ.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что количество верно определенных стадий ПОУГ и корректно подобранного ее лечения с применением разработанного метода, по сравнению с методом-прототипом увеличилось на 0,9%.

Выводы

Таким образом, при определении тяжести состояния пациентов с ПОУГ и выборе лечения с учетом профессиональных и личностных качеств экспертов, а также психологической устойчивости при согласованности их мнений появилась возможность повысить качество жизни больных с ПОУГ, что будет способствовать снижению инвалидизации трудоспособного населения. На практике это позволит поднять на новый уровень качество обслуживания больных, страдающих ПОУГ.

Список литературы: 1. *Краснов М.М.* Микрохирургия глауком. – М.: Медицина, 1980. – 176 с. 2. *Мальцев В.В., Конаев С.Ю., Бочкарев М.В.* Коэффициент легкости оттока как показатель вязкости внутриглазной жидкости // Съезд офтальмологов России 7 тез. докл., М.: изд. «Федоров» VII., ч.2. 2000. – С. 167. 3. *Казарян Э.Э., Галоян Н.С.* Сравнительный анализ диагностических алгоритмов лазерного сканирующего ретинотомографа при открытоугольной глаукоме // *Глаукома.* – 2009. – № 1. – С. 32-35. 4. *Elena P. Kantarzi* Mathematical modelling application in study of central visual field variation of the patients with glaucoma // *European researcher.* 2011. № 5-1 (7). – p. 769-772. 5. *Гарькавенко В.В.* Прогнозирование цилиохориоидальной отслойки при хирургическом лечении первичной открытоугольной глаукомы и ее профилактика: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Красноярск, 2002. – 27 с. 6. *Комаровских Е.Н., Лазаренко В.И., Ильенков С.С.* Ранняя

диагностика первичной открытоугольной глаукомы. – Красноярск, 2001. – 163 с. 7. *Комаровских Е.Н., Ланин С.Н., Белецкая Т.А.* и др. Клиническое обоснование новой технологии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы // Вопросы офтальмологии: Межрегиональная научно-практ. конф. офтальмологов: Материалы. – Красноярск, 2001. – С. 77-80. 8. *Хомушку М.Д.* Прогнозирование ранних послеоперационных осложнений в хирургии первичной открытоугольной глаукомы: Дис. ... канд. мед. наук. – Красноярск, 2005. – 120 с. 9. *Ким Т. С.* Прогнозирование клинического течения первичной открытоугольной глаукомы с помощью самообучающихся искусственных нейронных сетей / Т. С. Ким // *Глаукома.* – 2007. – № 1. – С. 7-10. 10. *Балалин С.В.* Система диагностики и лечения первичной открытоугольной глаукомы с использованием гемодинамических критериев в оценке их эффективности: Дис. ... доктора мед. наук. – Москва, 2014. – 50 с. 11. *Е. В. Высоцкая, А. Н. Страшненко, С. А. Синенко, Ю. А. Демин* Уточняющая диагностика первичной открытоугольной глаукомы на основе метода анализа сетей // *Системи обробки інформації.* – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2012. – Випуск 3(101). – Т.2 – С. 226-229. 12. *О. И. Жидкова* Медицинская статистика. Конспект лекций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.rus.ec/b/165766/read>

Поступила в редколлегию 25.03.2014

УДК 519.816

Визначення тяжкості стану пацієнтів з первинною відкритокутовою глаукомою та вибір лікування / О.В. Ви-соцька, Г.М. Страшненко, Ю.А. Дьомін, І.В. Прасол // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 104–110.

В даній роботі визначено тяжкість захворювання пацієнтів з первинною відкритокутовою глаукомою та вибір її лікування на основі методу аналізу мереж з врахуванням ступеня компромісу між оцінкою стадій захворювання та інформативними показниками. Крім того під час вирішення конкретної медичної задачі була врахована психологічна стійкість експертів при узгодженості їх думок, що дозволило об'єктивізувати прийняття рішення лікаря-офтальмолога; тим самим це підвищило якість життя хворих з первинною відкритокутовою глаукомою.

Табл. 2. Іл. 3. Бібліогр.: 11 найм.

UDC 519.816

Determination the severity of the patients condition with primary open-angle glaucoma and treatment choice / E.V. Vysotskaya, A.N. Strashnenko, Y.A. Demin, I.V. Praso / Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2014. – № 1 (82). – P. 104–110.

In this article, determination the severity of the patients condition with primary open-angle glaucoma and treatment choice was performed with the help of method by network analysis and subject to degree of compromise between the assessment stages of the disease and informative indicators. In addition, expert's psychological stability at the consistency of their views was taken into account at the solving the specific medical problems. It is allows to objectify the doctor's decision and to improve the quality of patients life with primary open-angle glaucoma.

Tab. 2. Fig. 3. Ref.: 11 items.

ОБ АВТОРАХ

Богучарский Сергей Иванович	43	аспирант кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Бодянский Евгений Владимирович	3	д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Бритик Владимир Иванович	69	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Власенко Наталия Владимировна	38	преподаватель кафедры информатики и компьютерной техники Харьковского национального экономического университета имени Семена Кузнеця
Высоцкая Елена Владимировна	104	канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Гороховатский Владимир Алексеевич	38	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой информационных технологий Харьковского института банковского дела Университета банковского дела Национального банка Украины
Гребенник Игорь Валерьевич	7, 29	д-р техн. наук, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Губаренко Евгений Витальевич	17	канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Демин Юрий Альбертович	104	д-р мед. наук, зав. кафедрой офтальмологии Харьковской медицинской академии последипломного образования
Дударь Зоя Владимировна	99	канд. техн. наук, профессор кафедры программной инженерии, зав. кафедрой программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Жилина Елена Юрьевна	69	аспирантка кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Зайко Татьяна Анатольевна	12	аспирантка кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Зеленцова Жанна Юрьевна	95	инженер фирмы «Network Cloud Cube-2», г. Одесса
Золотухин Олег Викторович	3	ассистент кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Каграманян Александр Георгиевич	33	канд. техн. наук, доцент кафедры естественных наук Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина
Кораблев Николай Михайлович	90	д-р техн. наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кузнецов Михаил Александрович	74	студент кафедры автоматизированных систем управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
Кушнарев Максим Владимирович	90	инженер кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники

Литвин Олег Олегович	23	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей и прикладной математики Украинской инженерно-педагогической академии
Лукьянова Елена Александровна	63	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры алгебры и функционального анализа Таврического национального университета им. В.И.Вернадского, г.Симферополь
Махин Александр Владимирович	99	студент кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Машталир Сергей Владимирович	43	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Михаль Олег Филиппович	47, 55	д-р техн. наук, профессор кафедры электронно-вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Олейник Андрей Александрович	12	канд. техн. наук, доцент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Прасол Игорь Викторович	104	д-р техн. наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Ребезюк Елена Леонидовна	29	аспирантка кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Ребезюк Леонид Николаевич	29	канд. техн. наук, доцент кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Рябова Наталия Владимировна	3	канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Скопа Александр Александрович	80	д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой информационных систем в экономике Одесского национального экономического университета
Сокол Владислав Евгеньевич	74	ассистент кафедры автоматизированных систем управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
Страшненко Анна Николаевна	104	канд. техн. наук, младший научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
Струков Евгений Владимирович	69	аспирант кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Субботин Сергей Александрович	12	канд. техн. наук, доцент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Ткачук Николай Вячеславович	74	д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
Фразе-Фразенко Алексей Алексеевич	80	зам. начальника Центра информационных технологий, соискатель Одесского национального экономического университета
Черная Ольга Сергеевна	7	аспирантка кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Широкопетлева Мария Сергеевна	99	старший преподаватель кафедры программной инженерии 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 повинна 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 і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; 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 (210x297 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.

Рисунки та таблиці (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізно 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 й обов'язково

подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, Рис.1.cdr).

Усі елементи рисунка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в рисунках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у рисунках – 10, у таблицях – 9.

Рисунок повинен мати центрований підпис (поза малюнком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина рисунка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

Формули, символи, змінні, повинні 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 у 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 шрифта – 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

Реферати (Times New Roman, кегль – 9 пунктів, 3-4 речення) подають російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80-90 г/м², надрукованим на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву, яку повинні підписати всі автори.
2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці.
3. Рецензію, підписану доктором наук.
4. Відомості про авторів.
5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.
6. Оплату за публікацію.

Необхідно також зазначити один з наступних тематичних розділів, якому відповідає рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту
2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень
3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання образів
4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси
5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика
6. Дискусійні повідомлення

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 (210x297mm), 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 – 6 pt; bottom – 3 pt.

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 – 8 pt, 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, 9pt., 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 – 9 pt, 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). The text of a resume must not duplicate an abstract.

The following documents must be submitted together with a manuscript:

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. The text of a manuscript on A4 format white color sheets of 80-90gr/m² density typed on a laser printer.

3. A certificate of expertise about a possibility of having the materials published in the press.

4. A review signed by a doctor of sciences.

5. Information about the authors.

6. An electronic variant of a manuscript, an abstract and information about the authors (on a 3.5” diskette or by electronic mail).

7. A receipt of payment for publication.

АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методолгічний 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 нескінченною. У першому випадку простір U^m називатимемо скінченним, а в іншому – нескінченним.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin T \\ 1, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in T. \end{cases} \quad (1)$$

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

У даний час в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезауруси) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції.

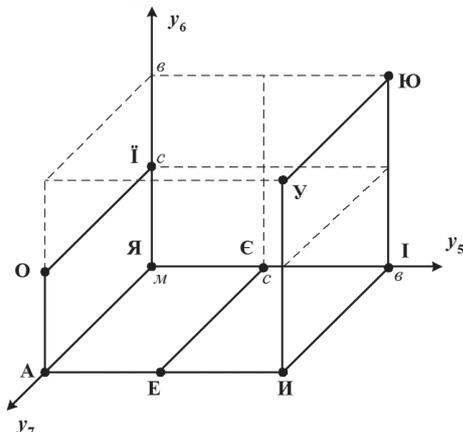


Рис. 1. Тривимірний простір ознак для голосних фонем

Висновки

У статті запропонована узагальнену структуру інтелектуальної системи, яка відповідає новій інформаційній технології рішення задач на ЕОМ, що орієнтовані 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. Тепер область її рекомендованого застосування розширена та охоплює довільні відношення, які далі будемо описувати за допомогою ДКАП.

Список літератури:

Надійшла до редколегії 15.02.2012

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 Intelligense: Sci. Mag. – 2007. – № 1 (66). – С. 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.127, тел. 702-14-77, факс 702-10-13, e-mail: ira_se@list.ru

Наукове видання

БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ
інформація, мова, інтелект

Науково-технічний журнал

№ 1 (82)

2014

Головний редактор — *Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко*

Зам. головного редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Коректор — *Л. М. Денісова*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 33 від 18.04.2014 р.)

Адреса редакції:

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,
e-mail: ira_se@list.ru

Підписано до друку 18.04.2014. Формат 60 x 84 ¹/₈. Друк ризографічний.
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 13,5. Обл.-вид. арк. 13.
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14